

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Hornicko – geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

**Zdravotní rizika spojená se zhoršenou kvalitou  
ovzduší vnitřního prostředí**

**Health Risks Associated with Worsened Indoor  
Air Quality**

**bakalářská práce**

Autor:

Martin Rajnoch

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Eva Pertile, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Hornicko-geologická fakulta  
Institut environmentálního inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Rajnoch**  
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 3904R005 Environmentální inženýrství  
Téma: **Zdravotní rizika spojená se zhoršenou kvalitou ovzduší vnitřního prostředí**  
**Health Risks Associated with Worsened Indoor Air Quality**

### Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl bakalářské práce
2. Hlavní polutanty vnitřního prostředí
3. Zdravotní rizika spojená se zhoršenou kvalitou vnitřního ovzduší
4. Současný stav řešené problematiky
5. Pasivní domy jako forma moderního bydlení
6. Závěr

### Seznam doporučené odborné literatury:

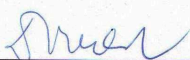
1. VAN BRONSWIJK, J., KOREN L., PERNOT C.: Importace of Air Quality in Homes, the Thade Project Report. Brussels: EFA Central Office, 2004. 13p.
2. Characterisation of Indoor Sources, COSI – Emissions of Chemical Substances from Materials and Products. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 2005. ISBN 92-894-8847-6.
3. CARRER P., RAMECKERS E., KOTZIAS D.: Policies and Actions Concerning Indoor Air Pollution in Dwellings in Europe and Overseas, the Thade Project Report. Brussels: EFA Central Office, 2004. 99p.
4. KULHÁNEK F. a kol.: Nízkoenergetické a pasivní domy. Praha: Verlag Dashofer, a.s., 2008. ISSN 1803-6821.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Eva Pertile, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012



prof. Ing. Vojtech Dimer, CSc.  
vedoucí institutu



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

## PROHLÁŠENÍ

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl(a) jsem byl seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/> Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

## **Abstrakt**

Tato práce, se bude v první části zabývat polutanty a jejich následnou definicí. Dále se zaměřuje na hlavní polutanty vnitřního prostředí, které jsou klasifikovány jako nejvíce ohrožující zdraví s odkazy na studie, dokazující jejich negativní účinky na zdraví v uzavřených místnostech. Zabývám se nejen jejich charakteristikou, zdroji z vnitřního i vnějšího prostředí, ale i naměřenými hodnotami jak v Evropě, tak na jiných kontinentech světa. Na základě platných studií uvádím koncentrace, které mají negativní vliv na obyvatele místností, včetně následných vzniků onemocnění. V práci uvádím i přehled legislativy, tedy klasifikace daného polutantu v rámci legislativy České republiky, Evropské unie, ale i mezinárodních dohod, včetně zařazení dané látky v ohledu zdravotních rizik. V poslední části práce se zabývám problematikou pasivních domů, jakožto formy moderního bydlení, srovnávám jejich výhody, ale hlavně nevýhody, ze kterých plynou potenciální zdravotní rizika.

**Klíčová slova:** polutanty, zdravotní rizika, pasivní domy, kvalita ovzduší, zdroje emisí, vnitřní prostředí

## **Abstract**

This work is in the first part will deal with pollutants and their subsequent definitions. It then focuses on the main pollutants of the internal environment, which are classified as the most threatening health with links to studies showing their negative effects on health in closed rooms. I deal with not only their characteristics, sources of internal and external environment, but also the measured values both in Europe and on other continents. Based on existing studies, I show concentrations that have a negative impact on the occupants, including the subsequent emergence of the disease. In this thesis I present an overview of legislation, ie classification of pollutants in the Czech legislation, the European Union and international agreements, including the inclusion of the substance in respect of health risks. The last part deals with the issue of passive houses as a form of modern living, comparing their advantages, but also disadvantages, which arise from the potential health risks.

**Keywords:** pollutants, health risks, passive houses, air quality, emission sources, the internal environment

## **Seznam zkratek**

ATSDR – Agentura pro sledování toxických látek a nemocí

HEXPOC – Expoziční cesty chemických látek u člověka

IARC – Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny

ICRP – Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu

INERIS – Národní institut životního prostředí průmyslových rizik

LOAEL – Nejnižší dávka nebo expoziční koncentrace látky, při které ještě nebyl pozorován statisticky významný nepříznivý účinek na organismu v porovnání s kontrolní skupinou

NOAEL – Dávka, při které ještě nebyl pozorován účinek

NPK – Nejvyšší přípustná koncentrace

PEL – Přípustný expoziční limit

UNSCEAR – Vědecký výbor pro účinky atomového záření

US EPA – Agentura pro ochranu životního prostředí USA

USA – Spojené státy americké

VOC – Těkavé organické látky

WHO – Světová zdravotnická organizace

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Mgr. Evě Pertile, Ph.D za cenné rady a odborné vedení při zpracování této práce.

# Obsah

1	Úvod a cíl práce .....	1
2	Polutant .....	2
2.1	Rozdělení polutantů .....	2
3	Hlavní polutanty vnitřního prostředí.....	4
3.1	Benzen.....	5
3.1.1	Použití .....	5
3.1.2	Zdroje emisí .....	5
3.1.3	Způsoby zjišťování a měření .....	7
3.1.4	Zdravotní rizika.....	8
3.1.5	Platná legislativa .....	10
3.1.6	Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření.....	10
3.2	Oxid uhelnatý .....	11
3.2.1	Zdroje emisí .....	12
3.2.2	Způsoby zjišťování a měření .....	13
3.2.3	Zdravotní rizika.....	13
3.2.4	Platná legislativa .....	15
3.2.5	Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření.....	16
3.3	Formaldehyd .....	17
3.3.1	Použití .....	17
3.3.2	Zdroje emisí .....	18
3.3.3	Způsoby zjišťování a měření .....	19
3.3.4	Zdravotní rizika.....	19
3.3.5	Platná legislativa .....	21
3.3.6	Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření.....	21

3.4	Naftalen .....	22
3.4.1	Použití .....	22
3.4.2	Zdroje emisí .....	22
3.4.3	Způsoby zjišťování a měření .....	23
3.4.4	Zdravotní rizika.....	24
3.4.5	Platná legislativa .....	25
3.4.6	Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření.....	25
3.5	Oxid dusičitý .....	26
3.5.1	Použití .....	26
3.5.2	Zdroje emisí .....	26
3.5.3	Způsoby zjišťování a měření .....	27
3.5.4	Zdravotní rizika.....	27
3.5.5	Platná legislativa .....	28
3.5.6	Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření.....	29
3.6	Polycyklické aromatické uhlovodíky .....	29
3.6.1	Použití .....	30
3.6.2	Zdroje emisí .....	30
3.6.3	Způsoby zjišťování a měření .....	31
3.6.4	Zdravotní rizika.....	31
3.6.5	Platná legislativa .....	32
3.6.6	Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření.....	33
3.7	Radon .....	34
3.7.1	Použití .....	34
3.7.2	Zdroje emisí .....	34
3.7.3	Způsoby zjišťování a měření .....	34
3.7.4	Zdravotní rizika.....	35



3.7.5	Platná legislativa .....	36
3.7.6	Současná stav řešené problematiky a navrhovaná opatření.....	36
3.8	Trichlorethylen .....	36
3.8.1	Použití .....	37
3.8.2	Zdroje emisí .....	37
3.8.3	Způsoby zjišťování a měření .....	37
3.8.4	Zdravotní rizika.....	38
3.8.5	Platná legislativa .....	39
3.8.6	Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření.....	40
3.9	Tetrachlorethylen .....	40
3.9.1	Použití .....	40
3.9.2	Zdroje emisí .....	40
3.9.3	Způsoby zjišťování a měření .....	41
3.9.4	Zdravotní rizika.....	42
3.9.5	Platná legislativa .....	43
3.9.6	Současný stav řešené problematiky .....	43
4	Pasivní domy.....	45
4.1	Vývoj pasivních domů .....	45
4.2	Problematika pasivních domů .....	46
4.3	Zdravotní rizika.....	47
5	Závěr .....	50
6	Seznam použité literatury .....	51
7	Přílohy.....	61
8	Seznam tabulek .....	62
9	Seznam obrázků .....	64

## 1 Úvod a cíl práce

Kvalita ovzduší vnitřního prostředí zejména v domácnostech, kancelářích a školách, je velmi důležitým, ovšem také často opomíjeným aspektem lidského bydlení, přestože na těchto místech tráví lidé většinu svého času, ba dokonce i velkou část svého života. Proto je nezbytným, a hlavně primárním faktorem zdravého a plnohodnotného života znát faktory, které znečišťují vnitřní ovzduší budov, a tedy i negativně ovlivňují zdraví osob v místnostech, neboť současná společnost vlivem nedostatečné informovanosti tyto zdroje opomíjí, ne-li i ignoruje. Porozumění problematice nebezpečnosti látek, vyskytujících se ve vnitřním prostředí, z určitých specifických zdrojů nebo vznikajících v důsledku lidské činnosti, ze kterých se následně uvolňují nebezpečné látky, mohou být příčinou značné materiální škody a újmy na zdraví lidí, následně chorob a ve svém konečném důsledku dokonce příčinou smrti. Tato problematika by se měla primárně řešit nejen po celém světě, ale i v rozvojových zemích.

Pokud by tuto problematiku veřejnost znala a byla by součástí určité „vnitřní politiky“, začala by významně klesat expozice určitých látek v uzavřených místnostech, a tedy by se významně snížilo riziko negativních účinků ze zdrojů a činností v těchto místnostech.

Cílem této práce je zaměřit se na kvalitu vnitřního prostředí a její negativní ovlivňování ze zdrojů, které se běžně nacházejí v uzavřených místnostech, přesněji v domácnostech a pracovištích. Ve své práci se zabývám hlavními polutanty vnitřního prostředí, které jsou Světovou zdravotnickou organizací (WHO) klasifikovány jako doporučené pro zařazení do směrnic o kvalitě vnitřního prostředí.

Těmito polutanty se zabývám jak z chemického hlediska, tak z hlediska zdrojového, a to jak z vnitřního, tak i z vnějšího prostředí, neboť vnitřní prostředí se skládá z určité části i z prostředí vnějšího, jejichž procentuální poměr je závislý na frekvenci větrání. Dále zde uvádím legislativu platnou pro Českou republiku (ČR) – zákony ČR, legislativu Evropské unie (EU) a doporučujícími pokyny mezinárodních institucí. Jelikož není v současné době k dispozici materiál, který by se touto problematikou zabýval hlouběji, patřily mezi mé zdroje velmi často zahraniční publikace.

## 2 Polutant

Jednoznačná definice polutantu je velmi problematická. Obecně se dá říct, že polutant, neboli škodlivina, je chemická látka přítomná v prostředí v koncentraci vyšší, než je její přírodní stav, a to jako důsledek antropogenní aktivity, mající za následek široké a nežádoucí vlivy na prostředí. (Holoubek, 1990)

**Podle European environmental Agency je polutant definován takto:**

*„Látka v ovzduší, která by mohla na dostatečně vysoké koncentraci poškodit lidské bytosti, zvířata, vegetaci nebo materiál. Látky znečišťující ovzduší tak mohou zahrnovat téměř všechny formy hmoty – přírodního nebo umělého původu.“*  
(<http://glossary.eea.europa.eu>)

Jestliže bychom obě definice komparovali, dojdeme k názoru, že obě vyjadřují určitou tendenci, ze které vyplývá, že polutant:

1. Působí na lidské zdraví nebo majetek.
2. Má nežádoucí účinky.
3. Může mít přírodní nebo antropogenní původ.

Pokud bychom však i přesto chtěli „ucelenou“ definici polutantu, pak by se mohlo jednat o látku v ovzduší (jakýkoliv prvek, látka nebo směs), v dostatečně vysoké koncentraci, která se po uvolnění do životního prostředí a po požití, vdechnutí nebo asimilace do jakéhokoli organismu způsobuje jeho nemoc, deformaci nebo dokonce smrt, přičemž daná látka (polutant), může být přírodního nebo antropogenního původu.

### 2.1 Rozdělení polutantů

**Primární polutanty** jsou látky přímo vypouštěné do ovzduší z určitých zdrojů různého původu. Do této skupiny patří polutanty, které jsou známy tím, že ve vysoké koncentraci způsobují nemalé negativní účinky jak na lidské zdraví tak majetek - například sirné sloučeniny jako je sulfan ( $\text{H}_2\text{S}$ ) či oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ) a dále dusíkaté sloučeniny jako je oxid dusnatý a oxid dusný ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Sirné sloučeniny byly příčinou sirného smogu v Londýně v polovině 20. století, který vzniká z oxidu siřičitého, popílku s obsahem sazí a těžkých kovů, které následně katalyzují oxidaci  $\text{SO}_2$  na  $\text{SO}_3$ . Společně s vodními parami tvoří mlhu zředěné kyseliny sírové. Smrtné koncentrace těchto látek dosahovaly svého maxima v prosinci 1952, kdy následně způsobily choroby dýchacích cest, na jejichž následky zemřelo přes 4000 lidí. Tento typ smogu byl po mnoho let

pozorován i v oblasti Severních Čech a na Ostravsku. (Organisation for Economic Cooperation and Development, 1999)

**Sekundární polutanty** nejsou emitovány přímo z určitých zdrojů, ale tvoří se v atmosféře z tzv. „prekurzorů“, neboli primárních znečišťujících látek. Do této skupiny patří oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ), kyselina dusičná ( $\text{HNO}_3$ ) a aerosoly síranů a dusičnanů. (Daly, Zannetti, 2007)

Ve 20. století pak bylo zjištěno, že i ropné produkty jsou zodpovědné za nový typ smogu. Po desetiletích výzkumu od jeho objevení v roce 1940 v Los Angeles, byl tento nový typ smogu pojmenován jako smog fotochemický. Fotochemický smog vzniká za teplého letního počasí a bezvětrí a skládá se ze znečišťujících látek zahrnujících oxidy dusíku, těkavých a jiných organických sloučenin, společně s kombinací slunečního záření, nadměrného množství přízemního ozónu a dalších chemikálií. Nutno podotknout, že tento typ smogu se velmi liší od typu smogu Londýnského. (Keder, 1997)

Oxidy dusíku jako významné polutanty vznikají z nejrůznějších zdrojů - většinou z aut, které mimo jmenované vypouštějí také těkavé organické látky. Zmíněné polutanty (sírany, dusičnany, organické částice) mohou být „přepřavovány“ na velké vzdálenosti, dokonce stovky až tisíce kilometrů daleko. Navíc, v kombinaci s mokrou nebo suchou depozicí znečišťujících látek přispívají velmi významně ke vzniku kyselých dešťů s následným dalším problémem, a to poškozením půdy, vegetace a přilehlých vodních toků, nejčastěji jezer. (martin.feld.cvut.cz)

### 3 Hlavní polutanty vnitřního prostředí

V současné době je velmi těžké stanovit jasná kritéria pro hodnocení, posuzování kvality ovzduší vnitřního prostředí, jejich vlivu na zdraví obyvatel a životního prostředí. Světová zdravotnická organizace stanovila, že kvalita vzduchu ve vnitřním prostředí má speciální roli z hlediska stanovení zdravotních faktorů, a proto řízení kvality vnitřního ovzduší vyžaduje odlišné přístupy od těch, které se používají ve venkovním prostředí.

Kritéria pro výběr hlavních polutantů vnitřního prostředí jsou tyto: existence vnitřních zdrojů, dostupnost toxikologických a epidemiologických dat, koncentrace vnitřních hodnot jsou vyšší než u nejnižšího pozorovaného nepříznivého účinku. Na základě těchto kritérií rozdělila polutanty vnitřního prostředí do dvou kategorií, které jsou uvedeny v tabulce 1. (World Health Organization, 2010)

**Tabulka 1 Znečišťující látky, které připadají v úvahu pro zařazení do směrnic podle WHO (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Doporučené látky pro směrnici	Látky důkazově nedostačující pro směrnici
Benzen	Acetaldehyd
Oxid uhelnatý	Azbest
Formaldehyd	Pesticidy
Naftalen	Látky zpomalující hoření
Oxid uhličitý	Glykolethery
PM <sub>2,5</sub> a PM <sub>10</sub>	Hexan
PAH	Oxid dusnatý
Benzo(a)pyren	Ozón
Radon	Ftaláty
Trichlorethylen	Styreny
Tetrachlorethylen	Toluen
	Xyleny

Mezi hlavní polutanty, a tedy rizikové látky spojené s problematikou kvality vnitřního ovzduší patří; benzen, oxid uhelnatý, oxid dusičitý, polycyklické aromatické uhlovodíky (zejména benzo(a)pyren), radon, trichlorethylen, tetrachloetylen. Tyto nebezpečné látky mají své zdroje právě ve vnitřních prostorech budov, tedy v domovech nebo kancelářích.

### 3.1 Benzen

Registrační číslo CAS 71-43-2. Chemický vzorec benzenu je  $C_6H_6$ . Je to čirá, bezbarvá kapalina s charakteristickým zápachem. Benzen je velmi toxická látka, je rovněž i těkavý a vysoce hořlavý. Teplota varu benzenu je  $80,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , teplota tání je  $5,5^{\circ}\text{C}$ . Se svou hustotou  $880\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  je mírně lehčí než voda. Benzen je dobře mísitelný ve většině organických rozpouštědel, ale málo rozpustný ve vodě. Benzen má vysokou tenzi par  $12,7\text{ kPa}$  při  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , to znamená, že se rychle odpařuje při pokojové teplotě. (HEI, 2007)

Benzen se vyskytuje ve vzduchu převážně v plynné fázi, v závislosti na prostředí, klima a koncentrací ostatních znečišťujících látek. Ostatní oxidanty jako například ozón a dusičnanové radikály mohou v menší míře přispět ke zvýšené koncentraci benzenu v místnosti, to ovšem závisí na velikosti rychlostní konstanty, kde reakce s hydroxylovými radikály benzen rozkládají ( $1,2\cdot 10^{-12}\text{ cm}^3\cdot\text{molecule}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  při  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) naopak při zvýšení, je to výše uvedenými látkami  $2,7\cdot 10^{-17}\text{ cm}^3\cdot\text{molecule}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  při  $25^{\circ}\text{C}$ .(3) Konverzní faktory jsou na  $760\text{ mm Hg}$ , při  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1\text{ ppm} = 3,248\text{ mg}\cdot\text{m}^3$ ,  $1\text{ mg}\cdot\text{m}^3 = 0,308\text{ ppm}$ . Při  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $1\text{ ppm} = 3,194\text{ mg}\cdot\text{m}^3$ ,  $1\text{ mg}\cdot\text{m}^3 = 0,313\text{ ppm}$ . (IUPAC, 2008)

#### 3.1.1 Použití

Benzen se používá jako surovina pro výrobu celé řady chemických látek jako jsou pryskyřice, plastové hmoty, léčiva, barviva, detergenty, syntetická vlákna, nátěry a některé typy pryže. Benzen rovněž slouží jako odmašťovací prostředek, dále se využívá v obuvnickém průmyslu, výrobě pneumatik, ale také jako součást automobilového benzínu. (www.irz.cz)

#### 3.1.2 Zdroje emisí

Benzen se v uzavřených místnostech neboli vnitřním ovzduším, může objevit z venkovního vzduchu, tyto koncentrace jsou ovlivněny frekvencí větrání, které je buďto přirozené nebo nucené, dále také závisí na klimatických podmínkách a rovněž přístavbě například garáž. (Dodson, 2007)

Z **vnitřních zdrojů** zde patří topení, sporáky, nábytek, stavební materiály a uložená rozpouštědla obsahující benzen. Hlavně materiály použité ke stavbě interiéru nebo exteriéru domu, případně stavební úpravy spojené s nátěry, podlahovými lepidly a odstraňovači barvy patří mezi hlavní zdroje koncentrací benzenu v místnostech. Dále koberce, PVC, pryžové podlahy, bytové polymerní materiály. (Heinrich, 2010)

Mezi **vnější zdroje** patří výfukové plyny pocházející z automobilového provozu a emise způsobené těkáním benzínu z palivové nádrže automobilů, ale i během tankování. Mezi další zdroje benzenu patří čerpací stanice, úniky z rafinérií ropy, chemického a dřevařského průmyslu, úniky při těžbě uhlí a ze spalování paliv (nejčastěji uhlí a oleje). (Hodgson, 2003) Benzen se v atmosféře vyskytuje hlavně v plynné fázi, kde může reagovat s hydroxylovými radikály (vznikajícími fotochemicky), za vzniku peroxyradikálů (např. peroxyacetylnitrátu). Tyto radikály společně s oxidy dusíku následně vytvářejí fotochemický smog. Benzen může odcházet z atmosféry rozpouštěním, což je ovšem podmíněno přítomností srážkové vody. V půdě se rozkládá za přítomnosti půdních organismů a může se vyloučit do podzemních vod. Za aerobních podmínek však může dojít k jeho biodegradaci. (Korpi et al., 1997)

Hlavně **rekonstruované vnitřní prostory** mají největší míru koncentrací benzenu, které během několika týdnů, případně měsíců dosáhnou stabilní úrovně, nicméně 40 – 60 % přítomnosti benzenu v místnosti může být způsobeno jiným zdrojem, nejčastěji přistavěnou garáží, kde vnitřní koncentrace benzenu dosahuje až  $8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Ovšem pro standardní místnosti je zvýšená koncentrace benzenu v místnosti spojována právě s použitím sporáků, petrolejových kamen, repelentů proti hmyzu (např. proti komárům). (Korpi, 1997)

V **pracovních prostorech** je benzen spojován s využitím tiskáren (zejména kopírování), skladováním rozpouštědel, čištěním a také kouřením. Emise benzenu z kouření cigaret se pohybuje kolem 430 – 590 mikrogramů na cigaretu. Proto je hlavní proměnnou koncentrace benzenu v místnosti koncentrace benzenu v ovzduší, včetně používání stavebních materiálů a přítomnosti zdrojů (kouření, kamna, sporáky, garáže). Rovněž další proměnnou, kterou je nutno uvést pro další výzkumy, je činnost daného člověka, jelikož frekvence jeho činností a pobytu na místech, ať už otevřených nebo uzavřených by dané výsledky na lidský organismus ve vnitřních prostorech mohla značně mystifikovat. Pro příklad, aktivní kouření přispívá 400 - 1800 mikrogramy benzenu za den, zatímco inhalace z pasivního kouření 14 – 50 mikrogramů na den podle průměrné dávky. Stejně tak řízení aut v dopravních kolonách představuje dodatečný příjem ve výši 20 mikrogramů. (Saksea, Thompson, Smith, 2003)

### 3.1.3 Způsoby zjišťování a měření

Koncentraci benzenu lze zjišťovat pomocí detektoru plynového chromatografu, hmotnostního spektrometru či plamenového ionizačního detektoru, dále je možné pro detekci benzenu použít i metod infračervené spektrometrie, kterou nabízejí nejčastěji kromě vysokoškolských laboratoří i laboratoře komerční.(www.irz.cz)

V minulosti byl tzv. biomarkerem expozice benzenu test na přítomnost a následnou koncentraci močových fenolů prováděný v průmyslových zařízeních u zaměstnanců jako biologický expoziční index. (Harrison, Saborit, Baker, 2009) Ovšem tento test má své omezení, jelikož přítomnost fenolu je sice velmi dobrým ukazatelem benzenu při jeho vysoké koncentraci v místnostech, nicméně hlavní otázkou neustále zůstává nastavení citlivosti testu, který by nám ukazoval i mírně překročenou hodnotu a ne jen vysoce.

Ve Spojených státech Amerických byl zjištěn denní příjem benzenu z vnějšího a vnitřního vzduchu na  $180 - 1300 \mu\text{g. den}^{-1}$ . Ve Velké Británii se odhaduje denní dávka  $116 - 122 \mu\text{g. den}^{-1}$  pro osoby, které nekouří a jsou z centra města. Pro kuřáky, kteří jsou z města byla odhadnuta hodnota  $500 \mu\text{g. den}^{-1}$ . Evropská studie odhaduje denní inhalační příjem benzenu na  $102 \mu\text{g. den}^{-1}$ , přičemž tuto studii dále specifikuje na uzavřené místnosti v domě, práci, dopravě, práce uvnitř. (Rotko, Kousa, Alm, 2001) V tabulce 4 je vidět rozdíl v koncentracích v bytových místnostech a kancelářích, což dokazuje rizikovost výše uvedených zdrojů.

**Tabulka 2 Porovnání koncentrací benzenu v obytné místnosti a kancelářích (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Oblast výzkumu	Koncentrace v místnosti ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Koncentrace v kancelářích ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
USA	2,6 - 5,8	3,86 - 7,0
Středoevropská města	10 - 13	14,6
Indie	103	87,1
Asie (Čína, Indie)	57,4	0,5 - 4,4
Japonsko	0,7 - 7,2	-



**Tabulka 3 Koncentrace benzenu v místnostech měřená v EU (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Místo měření	Koncentrace v místnosti ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
Kanceláře	0,4 - 4,0
Restaurace	1,1 - 22,7
Hospody	5,1 - 78,8
Diskotéky	193
Nákupní centra	0,7 - 15,5

Tabulka 3 uvádí koncentrace benzenu v místnostech, kde nejvyšší mají diskotéky, nejnižší kanceláře a nákupní centra. Vysoké koncentrace jsou způsobeny častým kouřením v uvedených místnostech (diskotéky), ale v případě nákupních center je to způsobeno nedostatečnou vzduchovou výměnou. Některé přístroje pro výměnu vzduchu nejsou kalibrovány na velký počet osob v místnosti, například v době slev a svátků, kde jsou tyto nákupní centra přeplněné. Tabulka 4 ukazuje příkladově, které činnosti zvyšují koncentraci látky v místnosti, za pozornost určitě stojí malování a vaření na plynovém vařiči, které by mělo být vyměněno za elektrické, pokud neprobíhá častější ventilace, jelikož může dojít k níže uvedeným zdravotním rizikům.

**Tabulka 4 Koncentrace benzenu v místnostech, kde se provádí určitá specifická činnost (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Zdroje	Koncentrace v místnosti ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
Nové budovy	30
Připojené garáže	16 - 19
Tabákový kouř	16 - 193
Malování	9 - 13 000
plynový vařič	166

Vnitřní koncentrace uvedené ve všech tabulkách jsou obvykle vyšší v chladnějším než v teplejším období.

### 3.1.4 Zdravotní rizika

Benzen primárně poškozuje krvetvorbu, imunitní systém a centrální nervovou soustavu. Do těla vstupuje nejčastěji inhalačně, což představuje více než 95 – 99% expozice, nebo orálně, což představuje příjem potravy a vody, ovšem tento způsob příjmu je z hlediska přijmutí benzenu minimální. Průnik kůží není z hlediska rizikovosti tolik nebezpečný, protože většina benzenu se rychle odpaří. Expozicí se benzen dostává do celého těla, nejvyšší koncentrace se nachází v kostní dřeni, játrech, ledvinách a také

v mozku. Akutní toxicita je způsobena přímým kontaktem s benzenem. Chronická toxicita je otázkou spíše jeho metabolity. Pokud dojde k otravě benzenem, projevují se příznaky **závratí, bolestí hlavy a zmateností**. (Andreoli, Leopardi, Crebeli, 1997) Tyto příznaky se projevují při koncentraci benzenu  $975 - 9750 \text{ mg.m}^{-3}$ , pro příklad je to inhalace benzenu po 30 minut v místnosti  $162 - 325 \text{ mg.m}^{-3}$ . Pokud dochází k častému vystavení nebo jeho vysoké koncentraci v místnosti, může způsobit i smrt (v důsledku selhání dýchání a srdeční arytmie), odhadována expozice pro nastání výše uvedené situace je setrvání v místnosti 5 – 10 minut, expozice  $64\,980 \text{ mg.m}^{-3}$ . (www.inchem.org)

**Chronická expozice** se projevuje závratí, anorexií, krvácením dásní, nosu, a trávicího traktu. Jelikož dochází k poškození červených a bílých krvinek, může expozice vyústit i v anémii. Po uplynutí 5 - 15 let se může projevit i leukémie. Národní ústav pro výzkum a bezpečnost (INRS – The French National Research and Safety Institute), udává prahové hodnoty uvedené v tabulce 5, pro příznaky akutní expozice, které se projeví při 30 – 60 minutovém pobytu v místnosti. (Bonnard, Falcy, Jargot, 2007)

**Tabulka 5 Akutní expozice benzenu (Zdroj: Bonnard, Falcy, Jargot, 2007)**

Typ akutní expozice	ppm	$\text{mg.m}^{-3}$
Bez efektu	25	81
Bolest hlavy	50 - 100	162 – 325
Výraznější příznaky	500	1625
Smrt	20 000	64 980

V EU je benzen klasifikován jako karcinogenní, což dokládají i tabulky 6 a 7 a tedy potvrzují určitým způsobem i zdravotní rizika výše jmenovaná.

**Tabulka 6 Věty R (Zdroj: www.irz.cz)**

R11	Vysoce hořlavý
R45	Může vyvolat rakovinu
R45/23/24/25	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechováním, stykem kůží a požíváním

**Tabulka 7 Věty S (Zdroj: www.irz.cz)**

S45	V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení)
S53	Zamezte expozici - před použitím si obzvláště pozorně přečtěte speciální instrukce

**V České republice platí pro koncentrace benzenu následující limity v ovzduší pracovišť:** PEL –  $3 \text{ mg.m}^{-3}$ , NPK – P –  $10 \text{ mg.m}^{-3}$  (www.irz.cz)

### 3.1.5 Platná legislativa

#### Legislativa EU

- **Nařízení E-PRTR** – Nařízení o E-PRTR, které se týká zřízení Evropského registru vypouštění a přenosu znečišťujících látek. (<http://prtr.ec.europa.eu>)
- **Rozhodnutí o EPER** – Rozhodnutí Komise 2000/479/ES, o vytvoření Evropského registru emisí znečišťujících látek podle článku 15 směrnice Rady 96/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC). ([www.mzp.cz](http://www.mzp.cz))

#### Mezinárodní dokumenty

- **CLRTAP** – Úmluva o dálkovém přeshraničním znečišťování ovzduší a související protokoly ([www.unece.org](http://www.unece.org))

#### Legislativa ČR

- **Zákon č. 254/2001 Sb. (příloha č.1)**, o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), příloha č.1: Zvlášť nebezpečné látky, ve znění pozdějších předpisů. (Zákon č. 254/2001)
- **Vyhláška č. 205/2009 Sb. (příloha č.1)**, o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. (Vyhláška č. 205/2009 Sb.)
- **Vyhláška č. 221/2004 Sb. (příloha č.2)**, kterou se stanoví seznamy nebezpečných chemických látek a nebezpečných chemických přípravků, jejichž uvádění na trh je zakázáno nebo jejichž uvádění na trh, do oběhu nebo používání je omezeno, ve znění pozdějších předpisů. (Vyhláška č. 221/2004 Sb.)
- **Vyhláška č. 402/2011 Sb.**, vyhláška o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí. (Vyhláška č. 402/2011 Sb.)

### 3.1.6 Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření

Pokyny k úrovním expozice pro vnitřní ovzduší jsou velmi potřebné, protože vnitřní ovzduší je významným zdrojem benzenu a vdechnutí člověkem je jeho hlavním činitelem expozice v lidském těle. Je nutno konstatovat, že vnitřní koncentrace jsou obecně vyšší než ve venkovním vzduchu, a to vzhledem k infiltraci benzenu ve venkovním vzduchu, což je v současné době závislé na mnoha dalších zdrojích. Je nutné si uvědomit, že tento genotoxický karcinogen **nemá stanovenou žádnou bezpečnou**

**úroveň**, jelikož riziko toxicity inhalace benzenu je stejné při expozici v interiéru nebo venku. Proto by se směrnice týkající vnitřního vzduchu neměla lišit od pokynů pro ovzduší venkovní. Je nutno uvést, že účinky expozice benzenem, vzhledem k jeho vysokým koncentracím patří v současné době mezi velmi dobře zpracovávané a následně publikované různými organizacemi, zabývajícími se tímto problémem. Mezi hlavní organizace patří International Agency for Research on Cancer (IARC), Agentura pro sledování toxických látek a nemocí (ATSDR), Ochrana životního prostředí USA (US EPA), Evropská komise, Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS) a také World Health Organization (WHO).

Jak již bylo uvedeno výše, u benzenu není znám **žádný expoziční práh**, tudíž je z praktického hlediska vhodným řešením snížit vnitřní úroveň expozice na minimum. Takového stavu se může dosáhnout snížením, případně přímou eliminací lidské činnosti, při níž se uvolňuje benzen. Mezi takové činnosti patří například kouření tabáku, používání rozpouštědel při čištění a dezinfekci. **Potenciální rizika** lze eliminovat používáním stavebních materiálů, jejichž odpadním plynem není benzen. Další metodou snížení množství benzenu ve vnitřním ovzduší je časté větrání, které je ovšem závislé na umístění stavby, proto by se místo pro větrání mělo využívat na nejméně znečištěné straně budovy.

### 3.2 Oxid uhelnatý

Registrační číslo CAS 630-08-0. Chemický vzorec oxidu uhelnatého je CO. Oxid uhelnatý je bezbarvý, hořlavý, prudce jedovatý bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu. Teplota varu činí 192 °C, teplota tání je - 205,1 °C. Molekulová hmotnost oxidu uhelnatého je 29, podobná jako vzduch, tedy se mísí se vzduchem v libovolném poměru. Oxid uhelnatý vzniká jako hlavní produkt nedokonalého spalování materiálů obsahujícího uhlík, hlavně prostřednictvím hromadné dopravy. Může vytvářet společně se vzduchem výbušné směsi, toto procento se zvyšuje s přítomností oxidu dusného, kyslíku a acetyleny. Je málo rozpustný ve vodě 3,54 ml na 100 ml při 0 °C, 2,14 ml na 100 ml při 25 °C, 1,83 ml na 100 ml při 37 °C. Dalším zdrojem emisí mohou být konstrukční chyby nebo závady na spalovacím zařízení. Oxid uhelnatý je obsažen i v cigaretovém kouři. Konverzní faktory jsou na 760 mm Hg, při 20 °C,  $1 \text{ ppm} = 1,165 \text{ mg.m}^3$ ,  $1 \text{ mg.m}^3 = 0,858 \text{ ppm}$ . Při 25 °C,  $1 \text{ ppm} = 1,45 \text{ mg.m}^3$ ,  $1 \text{ mg.m}^3 = 0,873 \text{ ppm}$  (Penny, 1996)

### 3.2.1 Zdroje emisí

Emise oxidu uhelnatého jsou původem přibližně ze dvou třetin z oxidu uhelnatého obsaženého v atmosféře a jednou třetinou z přírodních emisí. (Lanki, Alm, Ruuskanen, 2002).

**Významný zdrojem** emisí oxidu uhelnatého jsou zařízení (jak průmyslová i domácí), využívající speciální spalovací médium, mezi taková média mohou patřit například i kamna, sporáky, trouby, ohřívače vody nebo pece. Příčinami vzniku emisí oxidu uhelnatého při využívání těchto zařízení je v mnoha případech jejich nesprávná instalace, nevhodné technické umístění, špatné spalování, zanesené nebo ucpané přívody paliva (zejména palivo pocházející z biomasy), případně vzduchu (tato situace nastává zvláště při nedodržení pravidelné údržby zařízení), či netěsné výměníky tepla v pecích mohou způsobit vysoké koncentrace oxidu uhelnatého ve vnitřním ovzduší. Významným řešením v této oblasti by bylo spalování paliv, jako je zemní plyn, butan nebo propan, jelikož se významně sníží emise oxidu uhelnatého, ovšem toto řešení může být i smrtící, pokud se nedodrží pravidla odvětvňování a palivových poměrů. Rovněž je nutné uvést, že uvedené emise v uzavřených místnostech se odvíjejí od infiltrace oxidu uhelnatého z **venkovního vzduchu do vnitřního prostředí**. (Raub, 1996)

Oxid uhelnatý rovněž může být emitován v následujících provozech, které můžeme označit jako „**riziková pracoviště**“, tj. tam, kde se využívá různých termických procesů nebo spalování, tedy např. cementárny, sklárny, výroba keramiky, provozy kde dochází ke spalovacím procesům prostřednictvím uhlíkatých paliv a v hutnických provozech. Tato teze je potvrzena tabulkou 8, kde průmyslově aktivnější kontinenty mají vyšší koncentraci látky jak v ovzduší na pracovištích, tak i v kancelářích a místnostech.

**Tabulka 8 Porovnání koncentrací oxidu uhelnatého v obytné místnosti a kancelářích (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Oblast výzkumu	Koncentrace v místnosti ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Koncentrace v kancelářích ( $\text{mg.m}^{-3}$ )
USA	9-13	0,1 – 3,8
Středoevropská města	2,4	1,8
Indie	1,2	1,2 – 3,5
Asie (Čína, Indie)	5,0 – 26,8	0,2 – 2,1

**Tabulka 9 Koncentrace oxidu uhelnatého v místnostech měřená v EU (Zdroj: Junker, Koller, Monn, 2000)**

Místo měření	Koncentrace v místnosti ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
Kanceláře	4,3
Restaurace	5,0
Servisní stanice	10,5
Nákupní centra	6,5

**Tabulka 10 Koncentrace oxidu uhelnatého v místnostech, kde se provádí určitá specifická činnost (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Zdroje	Koncentrace v místnosti ( $\text{mg.m}^{-3}$ )
Sporáky (propan)	5,7
Připojené garáže	60 – 115
Tabákový kouř	2,4
Elektronika v domě	3,5 – 4
Vadný kotel	121

Tabulka 10 ukazuje nejrizikovější zdroje koncentrací látky v místnosti, zejména je nutno věnovat zvýšenou pozornost právě připojeným garážím, jelikož koncentrace látky vniká dovnitř nejčastěji při průchodu z garáže do domácnosti.

### 3.2.2 Způsoby zjišťování a měření

Zjištění množství emitovaného oxidu uhelnatého zejména jeho koncentrací v kouřových plynech je v podstatě hlavním úkolem měření. Prvotní možností měření je pravidelná kontrola údajů uvedených na spalovacím zařízení. Následně se dá jeho produkce buďto odhadnout nebo zjistit na základě výpočtu (součin koncentrace ve spalínách a objem spalín). **Pro důkaz přítomnosti oxidu uhelnatého** (nikoliv pro stanovení jeho množství) se používá nejčastěji detekčních trubiček, které obsahují silikomolybdenanový komplex a palladnatou sůl), kde za přítomnosti určitého limitního množství v místnosti vzniká modré zbarvení. Tento test se rovněž používá i v rizikových pracovištích, které jsou uvedeny výše. Další možností stanovení může být využití mobilních analyzátorů využívající infračervenou spektrofotometrii, termickou nebo elektrochemickou. Dále je možné využít metody chromatografické nebo titrační. Tato měření provádějí i komerční laboratoře. ([www.irz.cz](http://www.irz.cz))

### 3.2.3 Zdravotní rizika

**Oxid uhelnatý** vstupuje do těla vdechováním, následně přechází do krevního oběhu, kde se rozpustí v krvi a poté se váže na krevní barvivo hemoglobin (mnohem

silněji než kyslík). Hemoglobin je následně transportován do orgánů a tkání. Důležitým faktorem při identifikaci otravy oxidem uhelnatým je věk, nadmořská výška, kardiopulmonární nemoci před expozicí, životní prostředí, pracovní situace a zdali byl člověk vystaven zdrojům oxidu uhelnatého (například požáry, hořící kamna, motorová vozidla). Vazba oxidu uhelnatého na hemoglobin je stejně snadná a rychlá jako u kyslíku. **Vazba oxidu uhelnatého** je ovšem asi 245x silnější než pro kyslík. Rovněž kyslík se snadno a rychle odděluje od hemoglobinu, ovšem oxid uhelnatý zde zůstává po mnohem delší dobu. Vztah expozice oxidu uhelnatého a karboxyhemoglobinu (COHb) může být modelován za pomoci Coburn-Forster-Kanovy rovnice, která poskytuje dobré přiblížení COHb koncentraci konstantní úrovně vdechování exogenního oxidu uhelnatého. (World Health Organization, 2010)

V klinickém hodnocení se uvádí, že při **nižších úrovních expozice CO**, způsobuje u člověka bolest hlavy, malátnost, únavu a toto vše může vést k obtížím a kognitivním změnám v osobnosti člověka. (HO, Cheng, Chua, 2000) Toto tvrzení potvrzuje i studie, která zkoumala 256 pacientů s charakteristikou 55 méně závažnou otravou a 201 s těžší otravou oxidem uhelnatým. Méně závažná otrava byla klasifikována jako COHb úroveň nejvýše 15%, zatímco těžší otrava jako COHb větší než 15 %. U klasifikovaných pacientů méně závažných mělo 39 % snížený poznávací deficit šest týdnů, z klasifikovaných pacientů těžší otravy mělo 35 % poznávací deficity. Po porovnání obou skupin zjistil výskyt deprese 21% a 16%, úzkosti 30 % a 11%. Je nutno dodat, že výskyt deprese byl vyšší u pacientů s méně závažných ve srovnání s více těžkou otravou. Na základě laboratorní studie na snížení zátěžové kapacity i u zdravých jedinců bylo zjištěno, že kapacita COHb by neměla překročit 2%. Tato rovnice se rovněž používá při stanovení oxidu uhelnatého u normálních jedinců jak při odpočinku, tak pro různé intervaly zátěže, kterým jsou v souvislosti s trávením svého času vystaveni. (Aslan, Kandis, Katrici, 2010)

Při vdechování malé koncentrace oxidu uhelnatého může dojít ke zdravotním potížím u lidí trpících kardiovaskulárními chorobami. Při **zvýšené expozici** ( $>100\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) může oxid uhelnatý i zdravým lidem (platí i u zdravých mladých lidí) způsobit například **sníženou maximální pracovní výkonnost** a manuální zručnost hlavně, a s tím související vykonávání složitějších pracovních úkolů. Rovněž je dokázáno, že oxid uhelnatý snižuje reakční čas pro metabolismus těla při vyrovnávání se s angínou. **Největší riziko** způsobuje zejména těhotným ženám, které i při expozici malé dávky tohoto plynu způsobí nižší porodní váhu novorozence. **Při zvýšené koncentraci** a déletrvající koncentraci

tohoto plynu v ovzduší se následná otrava projevuje hnědočerveným zbarvením kůže, poté nastává koma a křeče, které mohou být příčinou následného vyústění i ve smrt daného jedince. **Léčba** pro akutní otrávení oxidem uhelnatým je oxygenoterapie známá už v roce 1960, doporučuje se i nyní (WHO). Doporučuje se zahájit okamžitě nebo během 12 hodin. (World Health Organization, 2010)

V České republice platí pro koncentrace oxidu uhelnatého následující limity v ovzduší pracovišť: PEL – 30 mg. m<sup>-3</sup>, NPK – P – 150 mg. m<sup>-3</sup> (www.irz.cz)

Závěrem zmiňuji studii, kterou provedla WHO, kde analyzovala studie chronické otravy oxidem uhelnatým, jejímž závěrem bylo, že akutní otravy oxidem uhelnatým jsou mnohými studiemi uváděny jako **hlavní příčina**, i když ve skutečnosti daní lidé měli chronickou otravu, byť používají kamna na uhlí a ohřívače vody jako zdroje oxidu uhelnatého. (World Health Organization, 2010)

V EU je oxid uhelnatý klasifikován jako toxický, což dokládají i tabulky 11 a 12, které přesně vymezují jeho charakteristiku.

**Tabulka 11 Věty R (Zdroj: www.irz.cz)**

R12	Extrémně hořlavý
R23	Toxický při vdechování
R48/23	Toxický: nebezpečí vážného poškození zdraví při dlouhodobé expozici vdechování
R61	může poškodit plod v těle matky

**Tabulka 12 Věty S (Zdroj: www.irz.cz)**

S45	V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení)
S53	Zamezte expozici - před použitím si obzortejte speciální instrukce

### 3.2.4 Platná legislativa

#### Legislativa EU

- **Nařízení E-PRTR** – Nařízení o E-PRTR, které se týká zřízení Evropského registru vypouštění a přenosu znečišťujících látek. (<http://prtr.ec.europa.eu>)
- **Rozhodnutí o EPER** – Rozhodnutí Komise 2000/479/ES, o vytvoření Evropského registru emisí znečišťujících látek podle článku 15 směrnice Rady 96/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC). ([www.mzp.cz](http://www.mzp.cz))

#### Legislativa ČR



- **Vyhláška č. 205/2009 Sb. (příloha č.1)** – o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. (Vyhláška č. 205/2009 Sb.)
- **Vyhláška č. 221/2004 Sb. (příloha č.2)** – kterou se stanoví seznamy nebezpečných chemických látek a nebezpečných chemických přípravků, jejichž uvádění na trh je zakázáno nebo jejichž uvádění na trh, do oběhu nebo používání je omezeno, ve znění pozdějších předpisů. (Vyhláška č. 221/2004 Sb.)
- **Vyhláška č.232/2004 Sb. (příloha č.1)** – , kterou se provádějí některá ustanovení zákona o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů, týkajících se klasifikace, balení a označování nebezpečných chemických látek a chemických přípravků, příloha č.1: Seznam závazně klasifikovaných nebezpečných chemických látek (dále jen „Seznam“) a způsob jeho používání, ve znění pozdějších předpisů. (Vyhláška č. 402/2011 Sb.)

### 3.2.5 Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření

V 19. století byl významným zdrojem oxidu uhelnatého v místnostech tzv. „svítiplyn“. Právě spalováním svítiplynu vznikal velmi jedovatý oxid uhelnatý. V současnosti je svítiplyn nahrazen zemním plynem, ačkoliv ještě nyní můžeme v některých domácnostech indikovat tzv. „dřevoplyn“, který vzniká nedokonalým spalováním dřeva. Světová zdravotnická organizace (WHO) doporučuje na základě vydaných pokynů 15 minutovou ochranou proti krátkodobým expozicím, které mohou vzniknout například při používání sporáku, dále 1 hodinovou ochranu proti nadměrným koncentracím způsobených vadnými zařízeními (kamna, krby). (Koistinen et al.,2008)

**Akutní expozice** oxidu uhelnatého se velmi liší od chronické expozice v několika bodech. Nejnovější studie, které jsou k dispozici od roku 2009, využívají velmi rozsáhlých databází s cílem vytvořit určité rozlišení mezi nálezy a dále také vytvořit určité vhodné pokyny pro úroveň dlouhodobé průměrné koncentrace oxidu uhelnatého, z důvodů minimalizace jeho účinků na zdraví. Například při pokynu, kdy je množství koncentrace oxidu uhelnatého stanoveno jako  $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , může být člověk v místnosti jen po dobu pod 8 hodin, proto se **doporučuje zavedení řady směrnic**, které budou obsahovat řešení při vystavení se 24 hodinové zvýšené expozici.

**Doporučení pro směrnice** týkající se vnitřních expozic jsou následující, pro pobyt v místnostech: (World Health Organization, 2010)

- 100 mg. m<sup>-3</sup> na **15 minut**
- 35 mg. m<sup>-3</sup> po dobu **1 hodiny** (za předpokladu, že se takovéto expozice nevyskytují častěji než denně)
- 10 mg. m<sup>-3</sup> po dobu **8 hodin** (aritmetický průměr koncentrace i při lehkém až středním tempu cvičení)
- 7 mg. m<sup>-3</sup> na **24 hodin** (aritmetický průměr koncentrace za předpokladu, že expozice nastane, jestliže jsou lidé v místnosti vzhůru či ve střehu)

### 3.3 Formaldehyd

Registrační číslo CAS 50-00-0. Chemický vzorec formaldehydu je HCHO, bývá nazýván také methanal, oxymethylin, methylaldehyd, lysoform nebo paraform, v závislosti na typu chemického názvosloví. Čistý formaldehyd je za normálních podmínek plyn (bezbarvý), s velmi pronikavým zápachem. Je dobře rozpustný ve vodě, alkoholech a dalších polárních rozpouštědlech. Páry formaldehydu jsou ovšem výbušné a hořlavé. Formaldehyd se jako čistý plyn velmi snadno polymerizuje, proto se uchovává jako vodný roztok (25 % - 65% formaldehydu). V pevné formě se skladuje jako cyklický trimer trioxan. V ovzduší je formaldehyd rychle foto-oxidován na oxid uhličitý v závislosti na podmínkách životního prostředí. Teplota varu formaldehydu je - 19,1°C, teplota tání - 92°C.

Konverzní faktory jsou na 760 mm Hg, při 20 °C, 1 ppm = 1, 249 mg.m<sup>3</sup>, 1 mg.m<sup>3</sup> = 0,801 ppm, při 25°C, 1 ppm = 1,228 mg.m<sup>3</sup>, 1 mg.m<sup>3</sup> = 0,814 ppm (Wisthaler et al., 2007)

#### 3.3.1 Použití

Formaldehyd má širokou škálu použití. Dnes se využívá k výrobě chemikálií a polymerů, které se následně používají k výrobě papíru, překližek, třískových desek a mnoha dalších spotřebních produktů. Největší část formaldehydu se ovšem využívá pro výrobu močovino–formaldehydových pryskyřic, které se dále používají jako lepidla na překližky či koberce, či dokonce jako lisované produkty pro pěnové izolace. Dále se může využívat v textilním a fotografickém průmyslu, při elektropokovování nebo jako

prostředek pro konzervaci dřeva. Slouží také k výrobě parfémů a vůní, a dokonce jako desinfekční a sterilizační prostředek. (www.irz.cz)

### 3.3.2 Zdroje emisí

Formaldehyd je zcela standardním produktem živých buněk, v malém množství se vyskytuje i v ovoci a zelenině. Velké množství formaldehydu vzniká při lesních požárech a rozkladných procesech. Odhaduje se, že přímé antropogenní emise jsou dokonce nižší než přirozené a sekundární emise. **Formaldehyd se uvolňuje** do prostředí při výrobě a skladování, rovněž při nakládání s odpady s obsahem formaldehydu. Nachází se v cigaretovém kouři, v emisích ze spaloven, spalovacích motorů a tepelných elektráren. **V domácnostech** se vyskytuje hlavně jako plyn, uvolněný při jeho používání jako desinfekčního či sterilizačního činidla. Pozvolna se uvolňuje z výrobků obsahující formaldehyd, jako jsou například koberce, izolační materiály, překližky, nábytek, textilie a z prostředků na konzervaci dřeva. (Salthamer, Mentese, Marutzky, 2010) Pokud se jedná o nové materiály a výrobky, může expozice trvat i několik měsíců, hlavně za podmínek s vysokou relativní vlhkostí vzduchu a vnitřní teploty a výměně vzduchu. (Raw, Coward, Brown, 2004)

**Hlavními vnitřními zdroji** jsou spalovací procesy, jako je například topení, kouření, vaření, ale i používání svíček nebo kadidel. (Wisthaler, Apel, Bossmeyer, 2007) Dále používání aviváží, čističů bot, koberců, kosmetiky, tekutých mýdel, laků na nehty, šampónů, elektronických zařízení, včetně počítačů a kopírek. Zjištění emisních faktorů jednotlivých zdrojů je velmi obtížné, nicméně existují studie, které měřily koncentraci formaldehydu v pařížských bytech z nábytku, kde klesala jeho koncentrace v závislosti na stáří. (Duboudin, 2009) Tabulka 13 dokazuje častější používání formaldehydu právě v domácnostech, jelikož je zde koncentrace zdrojů této látky vyšší a dochází zde k méně častému větrání.

**Tabulka 13 Porovnání koncentrací formaldehydu v obytné místnosti a kancelářích (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Oblast výzkumu	Koncentrace v místnosti ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Koncentrace v kancelářích ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )
USA	46	15 – 32
Evropa	8,1-77,8	15 – 26,8
Austrálie	2,5 – 133,7	-
Asie (Čína, Japonsko)	23	3

Pokud daná osoba kouří v místnosti, zvyšují se koncentrace až na  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Human exposure characterization of chemical substances (HEXPOC) report uvádí, na základě studie, která byla provedena v Brazílii, Kanadě, Mexiku, Nizozemí a USA, průměrnou hodnotu  $7,2 \mu\text{g.m}^{-3}$ , proto je formaldehyd nazýván jako velmi specifická znečišťující látka. Za **bezpečnou mez** se považuje  $0,125 \text{ mg.m}^{-3}$ , což dle tabulky 14 nepřekračují místnosti, které WHO podrobila zkoumání. (Kotzias, 2005)

**Tabulka 14 Průměrné koncentrace formaldehydu v místnostech (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Místo měření	Koncentrace v místnosti ( $\text{mg.m}^{-3}$ )
Kanceláře	0,025
Školy	0,050
Domy	0,050

### 3.3.3 Způsoby zjišťování a měření

Pro přesnější odhady emisí je nutné použít analytické stanovení, pokud však látka, uniká z provozu, kde je běžně používána, lze použít prosté bilance. Pokud je látka v provozu dodáváno více, než je její spotřeba, je nutné zkontrolovat místo jejího případného úniku nebo použít sorpční trubičky, do kterých se vzorek analyzovaného vzduchu odebere a je následně analyzován vhodným rozpouštědlem.

Mezi další možnosti stanovení jeho přítomnosti a nadlimitního množství je možné použít metodu infračervené spektrofotometrie s Fourierovou transformací, kapalinovou chromatografií s UV detektorem, plynovou chromatografií s plameno-izolačním detektorem nebo fluorescenční analýzu. Rovněž je možné použít i mobilní analyzátory (plamenový ionizační detektor). Jeho nevýhodou je ovšem fakt, že zachytí všechny spalitelné látky, nikoliv pouze formaldehyd. Biomarkerem expozice jsou vzorky moči u člověka (Gilbert, Guay, Gauvin, 2008).

### 3.3.4 Zdravotní rizika

**Formaldehyd** je velmi toxická látka. V prostředí však dochází k její velmi rychlé „rozkladatelnosti“, proto nebezpečí pro lidské zdraví hrozí z větší části pouze v blízkosti daného zdroje znečištění. Rozpustnost formaldehydu ve vodě způsobuje jeho rychlé vstřebávání do dýchacích cest a následně do gastrointestinálního traktu, kde je následně metabolizován. Více než 90 % formaldehydu se vstřebává a rychle metabolizuje v horních cestách dýchacích. (Kimbell, Overton, Subramaniam, 2001)

Pokud je člověk vystaven tzv. „**akutní expozici** formaldehydem“, dochází k bolesti hlavy a zánětu nosní sliznice. Při vystavení se vyšším dávkám způsobuje již vážné podráždění sliznic a dále také respirační problémy (záněty průdušek, otoky, které mohou vyústit i v zánět plic). U lidí mající **oslabený imunitní systém** může vyvolat astma a záněty kůže. Formaldehyd se rychle vstřebává kůží a může způsobit podráždění nebo alergické reakce. Při vystavení-se vyšší koncentraci i zákal rohovky nebo dokonce ztrátě zraku. Podle klasifikace EPA patří formaldehyd mezi **pravděpodobné karcinogeny** pro lidský organismus. Je rovněž klasifikován jako mutagenní a vyvolává chromozomální změny plicních buněk. Formaldehyd v plynném skupenství vstupuje do lidského těla kontaktem s kůží, okem nebo inhalačně, kde se dále v plicích snadno vstřebává, přičemž interval poločasu rozpadu je asi 90 sekund. Dochází zde k procesu, kde je následně jako metabolit vylučována kyselina mravenčí (močí) a oxid uhličitý je vydechován. Obecně se považuje, že **smyslové podráždění** je vnímáno jako detekce formaldehydu, nepříjemný pocit z očí, stimulací dýchacích cest. (World Health Organization, 2010)

Nutno podotknout, že orální expozice je možná pouze v případě kontaminované stravy nebo požitím vodného roztoku. Relativní riziko výskytu rakoviny nosohltanu vlivem expozice formaldehydu byly podle studie hodnoceny na základě čtyř ukazatelů:

Průměrná intenzita expozice ( $\text{mg.m}^{-3}$ ), nejvyšší vrchol expozice ( $\text{mg.m}^{-3}$ ), kumulativní expozice ( $\text{mg.m}^{-3}\cdot\text{roky}$ ) a trvání expozice (roky). Ve třech expozičních skupinách  $>0$  až  $< 0,63 \text{ mg.m}^{-3}$ ,  $0,63$  na hodnotu menší než  $1,25 \text{ mg.m}^{-3}$ ,  $>1,25 \text{ mg.m}^{-3}$  byly příslušné hodnoty nelze odvodit (0/3640 úmrtí), 0,38 (1/1405 úmrtí) a 1,67 (6/1450 úmrtí). Z toho vyplývá, že zvýšené **riziko** připadá na hladinu větší než  $1,25 \text{ mg.m}^{-3}$ . Tyto data mohou být používána pro nastavení pokynů pro koncentrace formaldehydu pro uzavřené místnosti. Pro vyšší expozice  $2,5 - 4,9$  a  $5 \text{ mg.m}^{-3}$  je pozorováno zvýšené riziko vzniku **leukémie**. V EU je formaldehyd klasifikován jako podezřelý na karcinogenní účinky, větší specifikace spojené se zdravotními riziky uvádějí tabulky 15 a 16.

Tabulka 15 Věty R ( Zdroj: [www.irz.cz](http://www.irz.cz))

R23/24/25	Toxický při vdechování, styku s kůží a při požití
R34	Způsobuje poleptání
R40	Podezření na karcinogenní účinky
R43	Může vyvolat senzibilizaci při styku s kůží

Tabulka 16 Věty S (Zdroj: [www.irz.cz](http://www.irz.cz))

S1/2	Uchovávejte uzamčené a mimo dosah dětí
S26	Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc
S36/37/39	Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít
S45	V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení)
S51	Používejte pouze v dobře větraných prostorech

V České republice platí pro koncentrace formaldehydu následující limity v ovzduší pracovišť: PEL – 0,5 mg. m<sup>-3</sup>, NPK – P- 1 mg. m<sup>-3</sup> ([www.irz.cz](http://www.irz.cz))

### 3.3.5 Platná legislativa

#### Mezinárodní dokument

- **CLRTAP** - Úmluva o dálkovém přeshraničním znečišťování ovzduší a související protokoly. ([www.unece.org](http://www.unece.org))

#### Legislativa ČR

- **Vyhláška č.356/2002 Sb. (příloha č.1)** - o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů (Vyhláška č.356/2002 Sb.)
- **Vyhláška č. 402/2011 Sb.**, vyhláška o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí. (Vyhláška č. 402/2011 Sb.)

### 3.3.6 Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření

Expozice formaldehydu v domácnostech jsou dominantními přispěvateli při vdechování a zvýšení vnitřní koncentrace této látky v místnostech. Při hodnocení dlouhodobých účinků formaldehydu se dospělo k názoru, že jeho dlouhodobé expozice mohou mít za následek rakovinu, a to na základě hodnocení studie No-Observed-Adverse-Effect-Level (NOAEL), která vycházela z modelů s hodnotami koncentrací cca 0,2 mg. m<sup>-3</sup>. Tyto hodnoty jsou nad pokyn pro krátkodobé účinky, pro které je určena hodnota 0,1 mg. m<sup>-3</sup>. Proto krátkodobé vystavení (asi 30 minut) při koncentraci 0,1 mg. m<sup>-3</sup> **předjde dlouhodobým účinkům** na zdraví, včetně rakoviny. Jednou z hlavních možností **snížení koncentrace** této látky v místnostech je použití materiálů s nízkými emisemi, včetně výrobků, bránících expozicím tabákového kouře a jiných spalovacích emisí, včetně minimalizace rizik související s expozicí. **Nejnižší koncentrace**, která vyvolává smyslové dráždění očí u lidí je 0,36 mg. m<sup>-3</sup>, a to při pobytu v místnosti po čtyři

hodiny. Zvýšení frekvence mrknutí oka a zarudnutí spojivek se objeví při koncentraci  $0,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , což je dle studie NOAEL považováno za nepříznivý účinek. (Nielsen, Wolkof, Alaire, 2007) Experimentální studie provedené na základě expozice u člověka nám ukazují, plicní funkce jsou **nedotčeny** jak u zdravých lidí nebo u astmatiků pro koncentrace pod  $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . (Golden, 2011)

**Nejdůležitějším způsobem kontroly** koncentrace formaldehydu je častá výměna vzduchu a používání materiálu s nízkými emisemi, i když tabákový kouř, životní prostředí v okolí mohou způsobit dočasnou zvýšenou úroveň.

### 3.4 Naftalen

Registrační číslo CAS 91-20-3. Chemický vzorec naftalenu je  $\text{C}_{10}\text{H}_{20}$ . Bývá nazýván jako „naftalín“, „bílý dehet“, Albocarbon či Molten. Naftalen je bílá, krystalická látka se silným zápachem. Snadno se odpařuje a jeho páry jsou hořlavé. Naftalen se rozpouští v organických rozpouštědlech a je velmi málo rozpustný ve vodě. Molekula naftalenu se skládá ze dvou kondenzovaných benzenových jader, a proto se řadí mezi tzv. polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). V plynné fázi 90 – 100 % má relativně krátký „poločas rozpadu“ 3 – 8 hodin v atmosféře. Bod tání je  $80,2^\circ\text{C}$ , bod varu  $218^\circ\text{C}$ .

Konverzní faktory jsou na  $760 \text{ mm Hg}$ , při  $20^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ ppm} = 5,331 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} = 0,188 \text{ ppm}$ , při  $25^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ ppm} = 5,241 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} = 0,191 \text{ ppm}$  ([www.irz.cz](http://www.irz.cz))

#### 3.4.1 Použití

Naftalen se využívá pro výrobu chemikálií, potřebných při výrobě polyvinylových plastů (PVC). Dále se z něj vyrábějí změkčovadla pro beton, přísady do sádrokartonu, dezinfekční činidla, deodorační prostředky (zejména na toaletách), fungicidy (prostředky proti houbám) nebo insekticidy (prostředky proti hmyzu). Rovněž kouř ze dřeva, topný olej a benzín mohou obsahovat naftalen. Hlavní složka naftalenu se používá k impregnaci dřeva. V současné době průmysl nahrazuje tuto látku para-dichlorbenzenem. (Kotzias, 2005)

#### 3.4.2 Zdroje emisí

Přirozeně se naftalen vyskytuje ve fosilních palivech, zejména se pak uvolňuje při jejich spalování. Stejně tak při jejich uchovávání, včetně likvidace. Nejčastěji se v uzavřených místnostech používá jako dezinfekční činidlo nebo insekticid (hlavně

k ochraně textilií uložených ve skříních), rovněž se uvolňuje při kouření, pryžové materiály, nekryté petrolejové ohřívače, herbicidy, maziva nebo spalování dřeva.

Obvyklými zdroji naftalenu v uzavřených místnostech jsou topení na bázi petroleje a tabákový kouř. (Koistinen, Kotzias, Kephelopoulos, 2008) Venkovní zdroje mohou přispět minimálně ke zvýšení koncentrace naftalenu v místnosti.

### 3.4.3 Způsoby zjišťování a měření

K základní indikaci naftalenu patří jeho silný zápach. Pro analýzu v ovzduší se používá trubička s aktivním uhlím, kterým se daný vzorek „prosává“. Tyto testy provádějí i komerční laboratoře ve městech. Biomarkerem expozice naftalenu u člověka je močový 1 a 2 naftol, tento test je výborně zavedený k vyhodnocení expozice naftalenu jak u pracovníků, tak i u obyvatelstva. **Nejčastější expozicí** člověka naftalenem je jeho inhalace. Celkový příjem naftalenu z ovzduší je  $1,127 \mu\text{g.kg za den}^{-1}$ , z jídla je to  $0,237 \mu\text{g.kg za den}^{-1}$  a domácího prachu  $0,235 \mu\text{g.kg za den}^{-1}$ . Jelikož lidé tráví většinu svého času v interiéru, hraje inhalace vnitřního vzduchu zásadní roli v celkové expozici. (World Health Organization, 2010)

**Tabulka 17 Porovnání koncentrací naftalenu v obytné místnosti a kancelářích (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Oblast výzkumu	Koncentrace v místnosti ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Koncentrace v kancelářích ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
USA	3,5	1 – 91,7
EU	1,3	4,3
Austrálie	-	-
Asie (Singapore)	0,122 – 26,9	93

Tabulka 17 nám ukazuje, že nejnižší koncentraci naftalenu pro domácnosti a kanceláře jsou naměřeny v Evropské unii, nejvyšší interval a tedy i hodnoty má USA a Asie. Tyto koncentrace jsou způsobeny zejména spalovacími procesy.

**Tabulka 18 Koncentrace naftalenu v místnostech (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Místo měření	Koncentrace v místnosti ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
Diskotéky	98,5
Školy	1,0 – 22 (17)
Restaurace	0,050



Tabulka 18 ukazuje koncentrace naftalenu v místnostech, vysoká hodnota u diskoték je opět způsobena nejčastěji kouřením v kombinaci s nedostatečným větráním nebo nevýkonnou vzduchovou jednotkou.

#### 3.4.4 Zdravotní rizika

Jeho vdechování způsobuje zmatení, (zápachový detekční práh je v rozmezí  $0,0075 - 0,42 \text{ mg.m}^{-3}$ ) zvýšené pocení, bolest hlavy, zvracení a apatii. Zvláště nebezpečný je pro oči, kde může docházet k jejich podráždění, které může vyústit i v šedý zákal. (Amoore, Hautala, 2006).

Obavy u zdraví člověka jsou z expozice naftalenu pro dýchací cesty, včetně nádorů a lézí na dýchacích cestách a hemolytická anémie, což prokázaly zvířecí studie. Většina dostupných údajů o toxických účincích naftalenu jsou **odvozeny ze studií** na zvířatech prováděných in vitro nebo in vivo přípravky. (Kwon, Jo, 2007).

**Největší nebezpečí** představuje naftalen pro těhotné ženy a kojence, jelikož může procházet placentou a dostávat se až do mateřského mléka. Po dané expozici se u kojence nebo novorozence může projevit dokonce anemie. Naftalen je podle IARC zařazen do skupiny 2B jako pravděpodobně karcinogenní pro člověka (tato klasifikace vznikla na základě dostatečných důkazů o jeho karcinogenitě na pokusných zvířatech a na nedostatečných důkazech o jeho karcinogenitě u člověka), větší specifikace zařazení jsou uvedeny v tabulkách 19 a 20. Proto je použití studií Lowest observed adverse effect level (LOAEL) a NOAEL (kontinuální expozice  $10 \text{ mg.m}^{-3}$ ) jasným **předpokladem** pro nastavení vnitřních limitů koncentrace naftalenu v místnostech s kombinacemi bezpečnostních faktorů, které budou mít za následek **snížení** karcinogenního rizika pro dýchací cesty. Vzhledem k tomu, že koncentrace naftalenu stoupne asi 100 násobně při použití zdrojů, je nejúčinnějším způsobem zabránění vysoké expozice vzdání se používání produktů obsahujících naftalen. Roční průměr koncentrací by neměl přesáhnout  $0,01 \text{ mg. m}^{-3}$ . Žádné spolehlivé údaje pro dlouhodobé účinky toxicity naftalenu nejsou k dispozici. (Kotzias, 2005) V České republice platí pro koncentrace naftalenu následující limity v ovzduší pracovišť:

PEL –  $50 \text{ mg. m}^{-3}$ , NPK – P-  $100 \text{ mg. m}^{-3}$  (www.irz.cz)

Tabulka 19 Věty R (Zdroj:www.irz.cz)

R22	Zdraví škodlivý při požití
R50/53	Vysoce toxický pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí

Tabulka 20 Věty S (Zdroj:www.irz.cz)

S26	Uchovávejte mimo dosah dětí
S36/37/39	Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné rukavice
S60	Tento materiál a jeho obal musí být zneškodněny jako nebezpečný odpad
S61	Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz. speciální pokyny nebo bezpečnostní listy

### 3.4.5 Platná legislativa

#### Legislativa EU

- **Nařízení E-PRTR** - Nařízení o E-PRTR, které se týká zřízení Evropského registru vypouštění a přenosu znečišťujících látek. (<http://prtr.ec.europa.eu>)

#### Legislativa ČR

- **Vyhláška č. 356/2002 Sb. (příloha č.1)** - o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů (Vyhláška č.356/2002 Sb.)
- **Vyhláška č. 402/2011 Sb.**, vyhláška o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí. (Vyhláška č. 402/2011 Sb.)

### 3.4.6 Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření

Pro bezpečí lidského organismu je nutné dodržovat koncepce LOAEL / NOAEL jako prahových hodnot, a to v kombinaci s bezpečnostními faktory. **Největším problémem** je určité nastavení pokynů pro vnitřní ovzduší, aby se minimalizovalo karcinogenní riziko expozice naftalenu pro dýchací cesty. Vzhledem k neexistenci dostatečně publikovaných údajů ve vztahu k méně závažným účinkům expozice, je chápána studie LOAEL jako nejvíce směřodatná. Pro kontinuální expozice je stanoven **výchozí bod** cca. 10 mg. m<sup>-3</sup>. Tento pokyn by měl být použit jako **roční průměr**.

**Snížení koncentrace** naftalenu v místnosti dosáhneme úplnou absencí nebo zastavením velkých zdrojů, jako například spalováním biomasy, kdy se sníží koncentrace naftalenu těsně nad detekci na 0,001 mg. m<sup>-3</sup>. Vzhledem k tomu, že koncentrace naftalenu

se v obytném prostředí používáním kotle na biomasu **zvýší** až 100x, nejvíce účinným způsobem zabránění expozice je zákaz používání výrobků obsahujících naftalen.

### 3.5 Oxid dusičitý

Je nutno uvést, že v této kapitole jsem se zaměřil na oxid dusičitý, i když je k dispozici sedm oxidu dusíku, včetně oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ), který je skleníkovým plynem a s významnými antropogenními zdroji přispívá k celosvětovému množství v ovzduší, kolem 0,3 ppm. Ovšem oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) jsou hlavními oxidy dusíku spojovány se spalovacími zdroji a jejich koncentrace se liší v závislosti používání spalovacích zdrojů a jejich koncentrace. Hlavně  $\text{NO}_2$ , může přispět ke zvýšení hladiny až na  $500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  v hustých městských oblastech. Oxid dusnatý se oxiduje ve vzduchu za vzniku oxidu dusičitého.

Registrační číslo CAS 10102-44-0. Chemický vzorec oxidu dusičitého je  $\text{NO}_2$ . Oxid dusičitý je červenohnědý plyn štiplavého zápachu. Je to silný antioxidant, žíravý a špatně rozpustný ve vodě. (1) Bod varu je  $21,15^\circ\text{C}$ , v normálních podmínkách, společně s nízkým parciálním tlakem v atmosféře (908 mm Hg při  $25^\circ\text{C}$ ) existuje v plynné formě.

Konverzní faktory jsou na 760 mm Hg, při  $20^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ ppm} = 1,914 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3} = 0,523 \text{ ppm}$ , při  $25^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ ppm} = 1,882 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3} = 0,531 \text{ ppm}$  (Kotzias, 2005)

#### 3.5.1 Použití

Oxid dusičitý je využíván jako meziprodukt kyseliny dusičné nebo takéž v průmyslových procesech jako silné oxidační činidlo. ([www.irz.cz](http://www.irz.cz))

#### 3.5.2 Zdroje emisí

Rovněž 90 – 95 % tvoří oxid dusnatý a jen 5 – 10 % oxid dusičitý. Tyto procenta jsou vydávány z rozložení oxidů dusíku, ovšem je nutno uvést, že tyto procentuální poměry jsou závislé na typu zdroje, jelikož oxid dusnatý se na vzduchu rychle oxiduje a s přístupem oxidantů (ozón, kyslík) vzniká oxid dusičitý. Emise tohoto plynu jsou závažným problémem, jelikož je spojován se spalováním nafty, plynu a biomasy, v dnešní době mají emise tohoto plynu rostoucí charakter. **Primárním zdrojem** jsou motorová vozidla a silniční doprava, i přes používání katalyzátoru. Ve **vnitřních zdrojích** musíme vzít v úvahu i následnou podmínku, že oxidační proces je obecně mnohem pomalejší.

Mezi vnitřní zdroje patří trouby, krby, ohřívače vody, sporáky, koncentrace se zvyšuje při nepravidelné údržbě a kouření.

Zpráva INDEX informuje o tom, že koncentrace oxidu dusičitého byly v rozmezí  $13 - 62 \mu\text{g.m}^{-3}$  v budově,  $27 - 36 \mu\text{g.m}^{-3}$  na pracovišti,  $24 - 61 \mu\text{g.m}^{-3}$  venku,  $25 - 43 \mu\text{g.m}^{-3}$  pro osobní expozice. Rovněž bylo zjištěno, že koncentrace se zvyšují v zimě (až  $62 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) než v létě ( $38 \mu\text{g.m}^{-3}$ ), hlavně při používání plynové pece. Vzdálenost od budov a silnic má vliv na vnitřní koncentraci oxidu dusičitého v místnosti, i v úrovních naměřených ve školních třídách. Rovněž se koncentrace zvyšuje při vstupu do domu z přistavěné garáže.. Koncentrace v místnosti za použití **plynových topení a vařičů** se odhaduje  $180 - 2500 \mu\text{g.m}^{-3}$ . (Koistinen, Kotzias, Kephelopoulos, 2008)

### 3.5.3 Způsoby zjišťování a měření

Při úniku oxidu uhelnatého je prvním varováním štiplavý zápach a jeho červenohnědá barva. Po zpozorování je nutno zamezit vdechování a dalšímu úniku těchto látek. Pro manuální analýzu se používá mobilních přístrojů, nejčastěji jsou využívána zařízení založená na stanovení obsahu oxidu dusíku pomocí chemiluminiscence. Rovněž je možno použít fotometrické stanovení ve vhodném absorpčním roztoku nebo coulometrická metoda. Biomarkery v současné době nejsou k dispozici.

### 3.5.4 Zdravotní rizika

V místnosti nebo venku je hlavním prostředkem vniknutí do organismu člověka inhalace, která je závislá na okolních podmínkách, zejména teplotě. Ve vyšších koncentracích může oxid dusičitý negativně působit na zdraví člověka, je ovšem nutno dodat, že tyto zvýšené koncentrace se ve vzduchu běžně nevyskytují.

Inhalace vysokých dávek koncentrací oxidu dusičitého může vést k závažným zdravotním onemocněním, které mohou vyústit ve smrt. Vdechování těchto vysokých koncentrací dráždí dýchací cesty (koncentrace nad  $1880 \mu\text{g.m}^{-3}$ ), odkud se tyto oxidy váží na krevní barvivo a zhoršují přenos kyslíku z plic do tkání. **Opakovaná expozice** nad  $1880 \mu\text{g.m}^{-3}$  pod dobu dvou hodin a tří dnů potvrdila zvýšenou citlivost k infekcím, hlavně s chřipkovým onemocněním. Podle další studie lidé trpící astmatem, kteří byli vystavení koncentraci  $560 \mu\text{g.m}^{-3}$  po dobu 2,5 hodin, měli určité změny v plicních funkcích. Existují už i určité náznaky, že se částečně podílí na vzniku nádorových onemocnění. (World Health Organization, 2010)

Podle studie provedené ve Velké Británii (148), měly děti, které vařily na plynových sporácích vyšší výskyt respiračních onemocnění (astma, kašel, zánět průdušek). Z této studie rovněž vyšly výsledky, že při zvyšování koncentrací oxidu dusíku je riziko získání výše uvedených nemocí následující: 44% při 0 – 37,6  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , 59% při 37,6 – 75,2  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , 71% při koncentracích nad 75,2  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . Rovněž i mechanické závady na strojích pro arény, kde se hrají zimní sporty, způsobují krátkodobé (maximálně 2 hodiny) a vysoké dávky expozice, které mohou mít případné následky. Je nutno uvést, že velkou proměnnou v těchto studiích je určitě sociálně ekonomické postavení rodiny, zvýšená míra kouření členů rodiny, frekvence používání plynových spotřebičů a větrání, denní režim dané osoby, včetně míry znečištění ovzduší dané oblasti, vlhkosti a plísním. Dokonce v Singapuru a poté i v Polsku zjistili, že při častém vaření žen (2x týdně, 3-14 krát týdně, 15 krát týdně), bylo **zvýšení respiračních onemocnění** u žen (chronický kašel, četnost hlenu v krku) při používání plynových sporáků, s velkou proměnnou a to expozice látek vzniklých při vaření, jako je smažení par, míchání koření s chilli, které sami o sobě způsobují respirační onemocnění. (Kotzias, 2005)

V EU je oxid dusičitý klasifikován jako vysoce toxický pro vdechování, větší specifikace jeho zařazení a možných zdravotních rizik z nich plynoucích ukazují tabulky 22 a 23.

**Tabulka 21 Věty R (Zdroj:www.irz.cz)**

R26	Vysoce toxický při vdechování
R34	Způsobuje poleptání

**Tabulka 22 Věty S (Zdroj: www.irz.cz)**

S1/2	Uchovávejte uzamčené a mimo dosah dětí
S9	Uchovávejte obal na dobře větraném místě
S26	Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc
S28	Při styku s kůží okamžitě omyjte velkým množstvím...(vhodnou kapalinu specifikuje výrobce)
S36/37/39	Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít
S45	V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení)

V České republice platí pro koncentrace naftalenu následující limity v ovzduší pracovišť: PEL – 10  $\text{mg.m}^{-3}$ , NPK – P- 20  $\text{mg.m}^{-3}$  (www.irz.cz)

### 3.5.5 Platná legislativa

## Legislativa EU

- **Nařízení E-PRTR** - Nařízení o E-PRTR, které se týká zřízení Evropského registru vypouštění a přenosu znečišťujících látek (<http://prtr.ec.europa.eu>)
- **Nařízení EPER** - Rozhodnutí Komise 2000/479/ES, o vytvoření Evropského registru emisí znečišťujících látek podle článku 15 směrnice Rady 96/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC) ([www.mzp.cz](http://www.mzp.cz))

## Mezinárodní dokumenty

- **CLRTAP** - Úmluva o dálkovém přeshraničním znečišťování ovzduší a související protokoly ([www.unece.org](http://www.unece.org))

## Legislativa ČR

- **Vyhláška č. 356/2002 Sb. (příloha č.1)** - o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů (Vyhláška č. 356/2002 Sb.)
- **Vyhláška č. 402/2011 Sb.**, vyhláška o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí. (Vyhláška č. 402/2011 Sb.)

### 3.5.6 Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření

**Doporučení WHO** pro stávající kvalitu vnitřního ovzduší nařizují pro hodinový pokyn koncentrace tohoto plynu jako max. množství  $200 \mu\text{g.m}^{-3}$ . **Průměrné roční** koncentrace oxidu dusičitého jsou  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ , tyto koncentrace jsou v souladu se stávajícím doporučením WHO. Studie vychází z analýzy vnitřního prostředí, která zahrnovala i zvýšené průměrné vnitřní úrovně při používání plynového sporáku ve srovnání s elektrickými kamny, kde dosáhla zvýšená hodnota limitu vnitřního oxidu dusičitého o  $28 \mu\text{g.m}^{-3}$  více, což mělo za následek zvýšené riziko onemocnění dýchacích cest, u dětí dokonce o 20 %. Domy, v nichž se nevyskytují vnitřní zdroje oxidu dusičitého, mají průměrnou hodnotu koncentrace  $15 \mu\text{g.m}^{-3}$ . **Maximální denní expozice** není známa (World Health Organization, 2010).

### 3.6 Polycyklické aromatické uhlovodíky

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) jsou velmi široká skupina různých látek, které se vyznačují tím, že ve své molekule obsahují aromatická jádra, nenesou

žádné heteroatomy ani substituenty. Do skupiny PAU patří například tyto látky: benzo(a)pyren, naftalen, fenantren, pyren, antracen, chrysen, acenaften.

Zástupcem této skupiny je benzo(a)pyren, jeho chemický vzorec je  $C_{20}H_{12}$ , registrační číslo CAS 50-32-8, je často používán jako indikátor celkové expozice karcinogennu PAU, jehož podíl na celkové karcinogenitě PAU je 50 – 60 % (4). Je to světlé žlutá krystalická látka se slabou aromatickou vůní. Bod tání je 179 °C a bod varu je 496 °C. Čisté sloučeniny jsou bílé, nažloutlé krystalické pevné látky, vyznačují se tím, že jsou málo rozpustné ve vodě, ale snadno se rozpouštějí v olejích nebo tucích. (Castro, Slezakova, Morais, 2010)

Konverzní faktory jsou na 760 mm Hg, při 20 °C,  $1 \text{ ppm} = 10,494 \text{ mg.m}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg.m}^{-3} = 0,095 \text{ ppm}$ , při 25 °C,  $1 \text{ ppm} = 10,318 \text{ mg.m}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg.m}^{-3} = 0,097 \text{ ppm}$

### 3.6.1 Použití

Polycyklické aromatické uhlovodíky se v dnešní době ve většině případů nevyrábějí, pouze pro laboratorní výzkumy a analýzy. Ovšem tyto látky jsou obsaženy v produktech vyráběných průmyslem jako například motorová nafta, materiály pro pokryv střech nebo výrobky z černouhelného dehtu. (www.irz.cz)

### 3.6.2 Zdroje emisí

Polycyklické aromatické uhlovodíky vznikají v rámci spalovacích procesů jakýchkoliv materiálů obsahujících uhlík, za podmínky, že spalování není dokonalé. Hlavním zdrojem v domácnostech je uvolňování z materiálů, které PAU obsahují (například izolace střech). Ale rovněž i vnější vzduch kontaminuje vnitřní vzduch. Mezi další zdroje patří kouření, vaření, kamna a krby, kadidla a svíčky. Emise z motorových vozidel připadá 46 – 90 % hmotnost PAU, zatímco topení přibližně 16 %. Stáří domu nebo budovy významně ovlivňuje koncentrace PAU v interiérech daných budov, která je dokonce někdy vyšší než koncentrace PAU v okolí, další významnou proměnnou je těsnost oken. Rovněž i v hermeticky uzavřených kamnech se mohou vnitřní koncentrace PAU zvýšit. (Bruno, 2004). **Při vaření** dochází ke vzniku emisí PAU, toto ovšem závisí na způsobu vaření, kde dokonce vaření potravin s vyšším obsahem tuku zvyšuje koncentraci PAU v místnosti, svou roli ovšem hraje teplota vaření

Hladiny benzo(a) pyrenu se pohybují v domácnostech v Evropě mezi 0,01 – 0,65  $\text{ng.m}^{-3}$ , v USA 0,05 – 0,44  $\text{ng.m}^{-3}$ , asijská města 0,21 – 3,4  $\text{ng.m}^{-3}$ . Pokud se v domech

nepoužívají vzduchotěsná kamna, zvyšuje se koncentrace až na  $0,63 \text{ ng.m}^{-3}$ . (Koistinen, Kotzias, Kephelopoulos, 2008). Velký vliv na tyto koncentrace mají i zdroje z nichž nejrizikovější jsou uvedeny v tabulce 24.

**Tabulka 23 Zdroje benzo(a) pyrenu (Zdroj: World Health Organization, 2010)**

Zdroje	Koncentrace v místnosti
Cigaretový kouř	25 - 35 ng (na cigaretu)
Brikety	$0,8 \text{ mg. kg}^{-1}$
Dřevo	$1,6 - 8,2 \text{ mg. kg}^{-1}$
Svíčky	$0,13 \text{ ng.g}^{-1}$
Impregnované dřevo	$58 - 749 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$

### 3.6.3 Způsoby zjišťování a měření

Pro sledování kvality ovzduší při stanovování PAU v plynu se používá velmi komplikovaných metod. Mezi nejčastěji používané patří metoda stanovení PAU, která spočívá v sorbování PAU ze vzorku na tuhý absorbent, kde je poté PAU extrahován termicky, kapalinou nebo rozpouštědlem. Vzorek se poté zbaví rušivých látek za pomoci gelové chromatografie a je následně analyzován kapalinovou nebo plynovou chromatografií. Biomarkerem pro hodnocení expozice je vzorek moči (1-hydroxypyren), (www.irz.cz)

### 3.6.4 Zdravotní rizika

Nebezpečí v podobě **polycyklických aromatických uhlovodíků** spočívá především v jeho vdechnutí, (Roosbroeck, Wichmann, Janssen, 2006) kdy následně prostupuje celým tělem i pokožkou. Údaje nejnovějších studií naznačují, že rakovina plic je nejzávažnějším zdravotním rizikem při expozici PAU v ovzduší budov. Mezi další rizika patří ohrožení zdravého vývoje plodu v těle matky, při jeho opakovanému vystavení se nadlimitního množství dochází ke ztenčení a popraskání pokožky.

Dalším významným zdravotním **rizikem** je retardace plodu spojená s nízkou porodní hmotností (menší než 2500g). Prenatální expozice PAU v USA a Evropě zvýšila pravděpodobnost nízké porodní hmotnosti. Dále novorozenci s vysokým obsahem PAU v DNA aduktů leukocytů měli významně nižší porodní váhu, délku a obvod hlavy.

Koncentrace vyšší než  $1,0 \text{ ng.m}^{-3}$  mohou vyvolat poškození DNA. (Perera, Whyatt, Jedrychowski, 1998). Dále rakovinu plic a je zde i podezření na možnost vzniku nádorů na močových cestách a měchýře. Benzo(a)pyren je klasifikován jako **lidský**



**karcinogen**, na základě pokusů se zvířaty, jelikož tato karcinogenita může působit v podobném smyslu i u lidí. Podle studie IARC jsou emise ze spalování uhlí karcinogenní pro člověka (skupina 1), spalování paliva z biomasy jsou velmi pravděpodobně karcinogenní pro člověka (skupina 2A), taktéž emise z vysoké teploty pečení jsou pravděpodobně karcinogenní pro člověka (skupina 2A), (World Health Organization, 2010)

Proto je podle tohoto materiálu klasifikován benzo(a)pyren jako karcinogenní (skupina 1). z důvodů dostatečných důkazů, že mechanismy karcinogenity u zvířat působí i na lidi. Jediným vodítkem pro stanovení koncentrací polycyklických aromatických uhlovodíků v ovzduší budov je jednotka rizika rakoviny plic u PAU, stanovená na základě epidemiologických dat o studii koksárenských pracovníků, která je stanovena na  $8,7 \cdot 10^{-5} \text{ ng} \cdot \text{m}^{-3}$  z benzo(a)pyrenu. (World Health Organization, 2010)

V EU jsou polycyklické aromatické uhlovodíky klasifikovány jako zdroje, které mohou vyvolat rakovinu a poškodit reprodukční schopnosti, větší specifikace jejich zařazení uvádí tabulky 25 a 26.

**Tabulka 24 Věty R ( Zdroj: [www.irz.cz](http://www.irz.cz))**

R45	Může vyvolat rakovinu
R46	Může vyvolat poškození dědičných vlastností
R50/53	Vysoce toxický pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí
R60	Může poškodit reprodukční schopnost
R61	Může poškodit plod v těle matky

**Tabulka 25 Věty S ( Zdroj: [www.irz.cz](http://www.irz.cz))**

S45	V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení)
S53	Zamezte expozici - pře použitím si obstarajte speciální instrukce
S60	Tento materiál a jeho obal musí být zneškodněn jako nebezpečný odpad
S61	Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz. speciální pokyny nebo bezpečnostní listy.

### 3.6.5 Platná legislativa

#### Legislativa EU

- **Nařízení E-PRTR** - Nařízení o E-PRTR, které se týká zřízení Evropského registru vypouštění a přenosu znečišťujících látek (<http://prtr.ec.europa.eu>)

- **Nařízení EPER** - – Rozhodnutí Komise 2000/479/ES, o vytvoření Evropského registru emisí znečišťujících látek podle článku 15 směrnice Rady 96/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC) ([www.mzp.cz](http://www.mzp.cz))

#### Mezinárodní dokumenty

- **CLRTAP** - Úmluva o dálkovém přeshraničním znečišťování ovzduší a související protokoly ([www.unece.org](http://www.unece.org))

#### Legislativa ČR

- **Vyhláška č. 356/2002 Sb. (příloha č.1)** - o chemických látkách a chemických přípravcích a o změně některých zákonů (Vyhláška č.356/2002 Sb.)
- **Vyhláška č.221/2004 Sb. (příloha č.2)** - kterou se stanoví seznamy nebezpečných chemických látek a nebezpečných chemických přípravků, jejichž uvádění na trh je zakázáno nebo jejichž uvádění na trh, do oběhu nebo používání je omezeno, ve znění pozdějších předpisů. (Vyhláška č. 221/2004 Sb.)

#### 3.6.6 Současný stav řešené problematiky a navrhovaná opatření

**Doporučená průměrná hodnota** inhalace v běžné populaci podle standardů EPA je 11,3 m<sup>3</sup> pro ženy a 15,2 m<sup>3</sup> pro muže. Vyšší denní koncentrace inhalace benzo(a)pyrenu lze zajistit různými palivy, při expozici z vnitřních zdrojů (91 – 2523 ng.den<sup>-1</sup>) nebo kamna pro vytápění (30 – 7448 ng.den<sup>-1</sup>). Údaje ze zdravotnického hodnocení naznačují, že rakovina plic je nejzávažnějším zdravotním rizikem z expozic PAU v budovách.

**Mezi hlavní zdroje** benzo(a)pyrenu patří cigaretový kouř, uvádí se, že jedna vykouřená cigareta vnese do těla člověka asi 25ng této látky. Údaje ze zdravotnického hodnocení naznačují, že **rakovina plic** je nejzávažnějším zdravotním rizikem z expozic PAU v budovách. Je nutno uvést, že expozice PAU je jak z vdechnutí kontaminovaného vzduchu, tak i spotřeby jídla a vody. Zejména vysoká expozice je přičítána právě cigaretovému kouři a požití některých potravin (například uzené maso, pečené maso a ryby – v ČR 4,2 – 35,0 ng. den<sup>-1</sup>), tudíž přestat kouřit v uzavřených místnostech je primární pro snížení expozic této látky. (Carrer, Rameckers, Kotzias, 2004)

### 3.7 Radon

Radon (Rn), který má řadu izotopů, je nejtěžší prvek ve skupině vzácných plynů, je radioaktivní, extrémně jedovatý, bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu. Vzniká radioaktivním rozpadem uranu a radia. Radon je velmi dobře rozpustný ve vodě, mnohem lépe se rozpouští v nepolárních organických rozpouštědlech. Radon vydává jasně bílé světlo a je hlavním zdrojem ionizujícího záření dávky, které byly běžně v populaci. Tyto dávky pocházejí především z expozicí radonu a jeho následných produktů přeměny ve vzduchu v domovech. (Kotzias, 2005).

#### 3.7.1 Použití

Radon se používá v léčbě rakoviny, jako tracer v detekci úniku a v rentgenu. (www.irz.cz)

#### 3.7.2 Zdroje emisí

Radon se vytváří rozpadem radia v půdě, skalách, ale i ve vnitřních prostorech budov nebo jiných uzavřených místnostech jako jsou například doly, tunely nebo podzemní pracoviště, kde jeho koncentrace mohou mít negativní vliv na zdraví člověka. Jeho koncentrace je závislá na určitých faktorech (aerosolové koncentraci, poměr koncentrace z místnosti a vzduchu). (www.epa.gov)

#### 3.7.3 Způsoby zjišťování a měření

Stupeň rovnováhy je obvykle vyjádřen v podmínkách rovnovážného faktoru, kde faktor 1 znamená úplnou rovnováhu (radioaktivní) mezi radonem a vzdušnou koncentrací.

UNSCEAR (Vědecký výbor pro účinky atomového záření) a ICRP (Mezinárodní komise pro radiologickou ochranu) stanovili F faktor 0,4 pro koncentraci ve vnitřním ovzduší, která je rovněž považována za reprezentativní pro vnitřní ovzduší většiny domácností. Radon se měří pomocí detektorů (polovodičových, stopových nebo scientačních), které dohromady se zesilovačem měří počet fotonových záblesků, které vznikají ve zkoumané látce. (Valentin, 2007)

Všechny horniny obsahují určité koncentrace uranu, vyšší koncentraci mají domy, postavené na půdě, kde dochází k rozpadu uranu v půdě. Díky půdnímu vzduchu dochází ke vstupu radonu přes praskliny v domě. (Makelainen, Arvela, Voutilainen, 2001) Největší pravděpodobnost vysokých koncentrací radonu budou mít ty oblasti, které mají

vysoký obsah radonu v podkladových horninách, jelikož koncentrace radonu zde může dosáhnout několika tisíc  $\text{Bq.l}^{-1}$  ve vodě z vrtaných studní, kde jsou žulové skály nebo jiné horniny. Toto vše přispívá k vysoké hodnotě vnitřní expozice radonu plynoucí z inhalace, než požití. (Wrixon, 2008). Tyto vody se používají k vaření, mytí nebo pro jiné účely.

### 3.7.4 Zdravotní rizika

Radon a jeho rozpadové produkty se dostávají do těla **inhalací**, rovněž je možnost požití radonu pomocí vody, ale tyto koncentrace jsou vůči inhalačním koncentracím zanedbatelné. Ve vnitřním ovzduší je radon vyprodukován z krátkodobých rozpadových produktů, které mají své aerosolové částice, které jsou ve vzduchu. Tím se následně dostávají do plic jako alfa částice buněk plicní tkáně a tím přispívají, díky různým vlivům a faktorům ke karcinogenezi. (Darby, 2004) Odhad této koncentrace je značně závislé na mnoha parametrech jako například dechová frekvence nebo absorpční parametry. (UNSCEAR, 2008)

**Produkty** přeměny radonu se ukládají na povrchu horních cest dýchacích, kde se následně vstřebávají do krve nebo díky určitým částicím i do trávicího traktu. Nejvyšší dávky jsou uloženy v **nosu, hltanu a hrtanu**, pro ostatní orgány jsou nízké. Díky tomu, že je radon rozpustný v tucích, je jeho velká koncentrace uchovávána v kostní dřeni nebo v ženském prsu. Jeho dávka na plod matky je velmi malá, (Kendall, Smith, 2005) nicméně je třeba upozornit na to, že produkty rozpadu radonu jsou uchovávány na kůži a mohou tak způsobit rakovinu kůže. **Nízké koncentrace** radonu v domácnostech mohou způsobit DNA mutagenезi, v kombinaci s účinky ionizujícího záření aj. Mezi biomarker expozice radonu patří chromozomální aberace (UNSCEAR, 2008).

**Riziko rakoviny plic** je 1,2 násobně vyšší u jedinců s měřenou koncentrací radonu  $100 - 199 \text{ Bq.m}^{-3}$ , než u těch, kteří mají koncentraci  $100 \text{ Bq.m}^{-3}$ . Tato studie bere v úvahu meziroční variabilitu radonu, ovšem koncentrace v domovech naměřená na  $100 \text{ Bq.m}^{-3}$  zvýšila dané riziko na 16%, které se odvozovalo od studie, které proběhly u kuřáků, lidí, kteří přestali kouřit a nekuřáků, jejich procenta relativního rizika rakoviny byla 7%, 8% a 11%. Pro koncentrace  $100 \text{ Bq.m}^{-3}$ . (Krewski et al., 2009) Nicméně tato studie nám odhaluje, že největší riziko získání rakoviny plic z vysoké koncentrace radonu mají právě nekuřáci. Z toho vyplývá, že **menší riziko zisku** rakoviny plic ze zvýšené koncentrace radonu mají **nekuřáci než kuřáci**.

### 3.7.5 Platná legislativa

#### Legislativa EU

- **Směrnice Rady 96/29/Euroatom** – kterou se stanoví základní bezpečnostní standardy na ochranu zdraví pracovníků a obyvatelstva před riziky z ionizujícího záření ([www.radonovyprogram.cz](http://www.radonovyprogram.cz))
- **Směrnice Rady 97/43/Euroatom** – o ochraně zdraví osob před riziky vyplývajícími z ionizujícího záření v souvislosti s lékařským ozářením a o zrušení směrnice 84/466/Euroatom ([www.radonovyprogram.cz](http://www.radonovyprogram.cz))
- **Směrnice Rady 2003/122/Euroatom** – o kontrole vysokoaktivních uzavřených zdrojů záření a opuštěných zdrojů ([www.radonovyprogram.cz](http://www.radonovyprogram.cz))

#### Legislativa ČR

- **Zákon č. 13/2002 Sb.** – o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů. ([www.sagit.cz](http://www.sagit.cz))
- **Vyhláška č. 499/2005 Sb.** – o radiační ochraně ([www.radonovyprogram.cz](http://www.radonovyprogram.cz))

### 3.7.6 Současná stav řešené problematiky a navrhovaná opatření

Radon je klasifikován podle IARC jako karcinogenní (skupina I), tedy existují důkazy na jeho přímou spojitost z rizika získání rakoviny plic z jeho inhalací o vysokých koncentracích. Referenční úroveň radonu je stanovena na  $100 \text{ Bq.m}^{-3}$ , tato úroveň by měla minimalizovat rizika v důsledku vnitřních expozic. Možností snížení expozice radonu v ovzduší, je instalace nucené ventilace, která by v zasažené místnosti zvýšila výměnu vzduchu. Mezi další možnosti patří utěsnění stropní konstrukce nad kontaktním podlaží a významných vstupních cest jako například plynové potrubí, vodoměrné a revizní šachty. (World Health Organization, 2010) Je nutné upozornit, že legislativa České republiky má limit pro vnitřní ovzduší při zachování frekvence větrání  **$400 \text{ Bq.m}^{-3}$** , což je hodnota **čtyři krát vyšší** než udává WHO jako bezpečnou a zároveň referenční úroveň.

## 3.8 Trichlorethylen

Registrační číslo CAS 79-01-6. Chemický vzorec trichlorethylenu je  $\text{C}_2\text{HCl}_3$ , další názvy jsou Alten, Chloryen, Triasol, Vitran, Tavoxen. Ttrichloethylen je bezbarvá

viskóznější kapalina, která se vyznačuje nasládlým zápachem, velmi podobným chloroformu. Je to látka velmi těkavá s vysokou tenzí par, která se rozpouští velmi dobře v organických rozpouštědlech (aceton, chloroform). Trichlorethylen patří do skupiny těkavých organických látek (VOC). Jeho bod tání je  $-84,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bod varu  $86,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Konverzní faktory jsou na 760 mm Hg, při  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1\text{ ppm} = 5,465\text{ mg.m}^3$ ,  $1\text{ mg.m}^3 = 0,183\text{ ppm}$ , při  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $1\text{ ppm} = 5,374\text{ mg.m}^3$ ,  $1\text{ mg.m}^3 = 0,186\text{ ppm}$  (World Health Organization, 2010)

### 3.8.1 Použití

V minulosti se trichlorethylen využíval jako anestetikum v medicíně, odstraňovač kofeinu z kávy a jako činidlo pro přípravu extraktů z koření. Pro potravinářský průmysl byl následně trichloethylen zakázán, kvůli podezření vzniku negativních účinků na zdraví člověka. V současné době se velmi využívá jako rozpouštědlo pro různé výrobky, součást lepidel a pro odmašťování kovových obrobků. Dále je využíván pro výrobu tiskařských barev, extrakčních procesů, pro průmyslový chemický úklid a jako součást potisku textilních materiálů. (Health Council of the Netherlands, 2003).

### 3.8.2 Zdroje emisí

Vzhledem k tomu, že trichlorethylen se může vypařovat velmi rychle z povrchu vody, může být kontaminovaná voda jedním ze zdrojů vnitřního znečištění ovzduší. Mezi další zdroje patří expozice po použití praček, myček na nádobí, sprchování. Je rovněž dokázáno, že určité množství se dostane do domu puklinami z kontaminované zeminy. Nesmíme opomenout také mořidla, laky, lepidla, psací stroj, odstraňovače a rozpouštědla (Ruden, 2005).

### 3.8.3 Způsoby zjišťování a měření

Vzhledem k tomu, že trichloethylen je silně zapáchající látka, slouží k její primární identifikaci čich, ovšem, tato látka má tu vlastnost, že při její identifikaci čichovým ústrojím člověka dochází za krátký časový interval k její desenzibilizaci na charakteristický zápach, což má za následek ztrátu čichového vjemu. Detailněji lze množství trichloethylenu zjistit pomocí plynové chromatografie s detektorem elektronového záchytu ECD, odběr vzorku se provádí pomocí sorpčních trubiček. Tyto studie provádějí komerční laboratoře. (Lewis et al., 1994)

### 3.8.4 Zdravotní rizika

**Trichlorethylen** je látka velmi nebezpečná pro zdraví člověka, vstupuje do těla nejčastěji inhalací (World Health Organization, 2010), kde mezi její základní projevy patří ovlivnění centrálního nervového systému, podobně jako u požití určitého množství alkoholu, tedy bolest hlavy, závratě a zmatenost, po vystavení se delší expozici této látky může nastat bezvědomí, které může vyústit až ve smrt daného jedince. Rovněž jejím dalším projevem je poškození pokožky a očí s určitou možností nevratného poškození zraku. Opakovaná expozice může způsobit deprese, ztrátu paměti, rovněž může dojít k poškození jater a ledvin. Rovněž některé studie ukazují, že poškozuje genetický kód a způsobuje mutace v organismu člověka. Trichlorethylen může rovněž proniknout neporušenou lidskou kůží. (Del Gratta et al., 2005)

V současné době se rozvíjejí různé hypotézy, které by zodpověděly rozvoj rakoviny v plicích, ledvinách a játrech v závislosti na expozičních úrovních. (Ruden, 2005)

Změny ve vizuálním a sluchovém vnímání byly pozorovány při koncentracích od  $270 \text{ mg.m}^{-3}$ . Při koncentracích  $600 - 1\,000 \text{ mg.m}^{-3}$  bylo pozorováno snížení výkonnosti po dobu několika hodin. Je nutno uvést, že tetrachloethylen při dlouhodobém vystavení může hrát velkou roli při vzniku parkinsonově nemoci. (Health Council of the Netherlands, 2003) Rovněž výskyt rakoviny jater se zvýšil u mužů v prostředí tiskáren. Jedinci s vysokou spotřebou alkoholu, ale také se sníženou funkcí jater nebo ledvin mohou být mnohem citlivější na koncentrace tetrachloerthylenu. (Williams-Johnson et al., 1997)

Jelikož je dokázáno na základě studií, že tetrachlorethylen je genotoxický karcinogen, všechny expozice v interiéru jsou považovány za relevantní, tudíž nelze získat žádnou prahovou hodnotu. V EU je klasifikován jako karcinogenní, věta R45 (může vyvolat rakovinu), což dokládají tabulky 27 a 28. (IARC, 1995)

**Tabulka 26 Věty R (Zdroj: [www.irz.cz](http://www.irz.cz))**

R45	Může vyvolat rakovinu
R52/53	Škodlivý pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí
R67	Vdechování par může způsobit ospalost a závratě
R36/38	Dráždí oči a kůži

Tabulka 27 Věty S ( Zdroj: [www.irz.cz](http://www.irz.cz))

S45	V případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení)
S53	Zamezte expozici - pře použitím si obstarajte speciální instrukce
S61	Zabraňte uvolnění do životního prostředí. Viz. speciální pokyny nebo bezpečnostní listy.

V České republice platí pro koncentrace trichlorethylenu následující limity v ovzduší pracovišť: PEL – 250 mg. m<sup>-3</sup>, NPK – P- 750 mg. m<sup>-3</sup> ([www.irz.cz](http://www.irz.cz))

### 3.8.5 Platná legislativa

#### Legislatva EU

- **Nařízení E-PRTR** - které se týká zřízení Evropského registru vypouštění a přenosu znečišťujících látek ([prtr.ec.europa.eu](http://prtr.ec.europa.eu))
- **Rozhodnutí o EPER** - Rozhodnutí Komise 2000/479/ES, o vytvoření Evropského registru emisí znečišťujících látek podle článku 15 směrnice Rady 96/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC) ([www.mzp.cz](http://www.mzp.cz))

#### Mezinárodní dokumenty

- **CLRTAP** - Úmluva o dálkovém přeshraničním znečišťování ovzduší a související protokoly ([www.unece.org](http://www.unece.org))
- **Zákon č.254/2001 Sb. (příloha č.1)** - o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), příloha č.1: Zvlášť nebezpečné látky (Zákon č.254/2001 Sb.)
- **Vyhláška č. 205/2009 Sb. (příloha č.1)** - o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. (Vyhláška č. 205/2009 Sb.)
- **Vyhláška č. 221/2004 Sb. (příloha č.2)** - kterou se stanoví seznamy nebezpečných chemických látek a nebezpečných chemických přípravků, jejichž uvádění na trh je zakázáno nebo jejichž uvádění na trh, do oběhu nebo používání je omezeno, ve znění pozdějších předpisů. (Vyhláška č. 221/2004 Sb.)
- **Vyhláška č. 402/2011 Sb.**, vyhláška o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí. (Vyhláška č. 402/2011 Sb.)



### 3.8.6 Současný stav řešení problematiky a navrhovaná opatření

Pro hodnocení zdravotních rizik, včetně určitých důkazních studií o genotoxicitě a epidemiologických studiích, a tedy souladu mezi pozorovanými zvířaty a člověkem, je možné se domnívat, že riziko rakoviny je věrohodné, proto byla vybrána **bezpečná úroveň** na  $4,3 \cdot 10^{-7} \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , odvozená i na základě Leydigových buněk nádorů. Závěr WHO a EU, koncentrace tetrachloethylenu ve vzduchu spojená s rizikem rakoviny je 1:10 000 pro  $230 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , 1: 100 000 pro  $23 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ , 1:1 000 000 pro  $2,3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . (World Health Organization, 2010)

## 3.9 Tetrachlorethylen

Registrační číslo CAS 127-18-4. Chemický vzorec je  $\text{C}_2\text{Cl}_4$ . Další názvy tetrachlorethylenu jsou tetralex, perchlor, antisol, Percelene, ethylentetrachlorid. Tetrachlorethylen bývá zkráceně nazýván PCE, je to bezbarvá nehořlavá kapalina s nasládlou vůní, je velmi těžký, proto se řadí do skupiny mezi těžké organické látky (VOC). Bod tání je  $-22^\circ\text{C}$  a bod varu  $121^\circ\text{C}$ . Konverzní faktory jsou na 760 mm Hg, při  $20^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ ppm} = 6,897 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} = 0,145 \text{ ppm}$ , při  $25^\circ\text{C}$ ,  $1 \text{ ppm} = 6,782 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} = 0,147 \text{ ppm}$  (ATSDR, 1997)

### 3.9.1 Použití

Díky svým unikátním vlastnostem se tetrachlorethylen používá jako velmi výborný čisticí prostředek. Dále se v něm rozpouští mnohá organická znečištění, například u oděvů. Používá se rovněž jako rozpouštědlo pro oleje, tuky, vosky. Stopové množství můžeme najít v lepidlech, inkoustech do tiskáren nebo silikonových mazivech. Dále jako přísada do PCE lepidel, odstraňovačů skvrn, repelenty a vůně. V současné době nemůže chemický průmysl najít plnohodnotnou náhradu za tuto látku, proto některé odmašťovací prostředky, které garantují ekologickou nezávadnost, ho buď obsahují a pokud ne, tak nemají tak dostatečnou odmašťovací schopnost. (Del Gratta et al., 2005)

### 3.9.2 Zdroje emisí

Hlavními zdroji jsou ve vnějším ovzduší průmyslové emise, včetně stavebních a z továren zabývajících se elektronikou. Sloučenina se vyskytuje také v povrchových vodách a půdách čistírenských kalů a odpadů, kde se může rychle vypařovat do ovzduší. (Howard et al., 1991)

Mezi vnitřní zdroje patří kontaminovaná voda, sprchový kout nebo mytí nádobí, čištění oblečení. Obchody, kanceláře nebo domácnosti, které se vyskytovaly v blízkosti čistíren měly mnohem vyšší úroveň tetrachlorethylenu než ty, které se v její blízkosti nenalézaly. (World Health Organization, 2010).

Tabulky 29 a 30 srovnávají vnitřní koncentrace látky v bytech a kancelářích, kde kanceláře vyšly z tohoto výzkumu jako nejvíce rizikové, neboť zde, se přípravky obsahující tuto chemickou látku vyskytují nejčastěji.

**Tabulka 28 Vnitřní koncentrace v bytech podle studie Expolis (Jantunen et al., 1998)**

Oblast výzkumu	Střední hodnota koncentrace v bytech ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Koncentrace v bytech při percentilu 90 ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
Basilej	0,6	2,9
Miláno	7,4	28,1
Atény	4	14,3
Praha	7,4	26,1

Průměrné venkovní hladiny byly  $2,3 \mu\text{g.m}^{-3}$ , což nám dokazuje zvýšení na základě použití zdrojů.

**Tabulka 29 Vnitřní koncentrace v kancelářích podle studie Expolis (Zdroj: (Jantunen et al., 1998)**

Oblast výzkumu	Střední hodnota koncentrace v kancelářích ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )	Koncentrace v kancelářích při percentilu 90 ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ )
Basilej	1,2	3,1
Miláno	5,4	17,5
Atény	3,5	10,6
Praha	3,7	10

Vyšší úrovně expozice mohou být v interiéru budov, jako jsou domácnosti a podniky. Rovněž studie zjistili, že vyšší úrovně expozice byly spojeny s návštěvou čistírny. (Jantunen et al., 1998) Tyto koncentrace mohou mít vliv jak na obyvatele, tak i na jídlo.

### 3.9.3 Způsoby zjišťování a měření

Tetrachlorethylen je silně zapáchající látka, proto k její primární detekci slouží čich. Další možností je laboratorní stanovení, kde se nejčastěji používá metody plynové chromatografie s detektorem elektronového záchytu ECD. K odběru vzorku vzduchu slouží sorpční trubičky.([www.irz.cz](http://www.irz.cz)) Biomarkerem expozice je měření hladiny v krvi nebo v moči. (McKernan et al., 2008)

### 3.9.4 Zdravotní rizika

**Tetrachlorethylen** je nebezpečná látka pro zdraví člověka, vstupuje do těla nejčastěji inhalací a může prostoupit i pokožkou. Mezi základní projevy patří bolest hlavy, nevolnost, slabost, zvracení, poškození očí, nosu, úst a dýchacích cest, kde při vyšších koncentracích výskytu této látky hrozí tvorba vody v plicích, která může vyústit až ve vznik plicního edému. Hlavně rychlost přijmutí této látky v plicích je přímo úměrná rychlosti ventilace, koncentrace ve vzduchu a trvání expozice. Při dlouhodobém pobytu v dané místnosti a vyšších koncentracích této látky dochází k poškození centrální nervové soustavy, poškození reprodukčních funkcí u obou pohlaví a velká pravděpodobnost onemocnění rakovinou. (Williams - Johnson et al., 1997)

**Akutní expozice** 100 – 200 ppm může způsobovat podráždění horních cest dýchacích, ale očí a kůže. Při vyšších koncentracích může dojít ke ztrátě vědomí. Velký vliv mají vyšší koncentrace ( $340 - 2040 \text{ mg.m}^{-3}$ ) i na centrální nervovou soustavu, kde může dojít k dezorientaci, krátkodobým paměťovým poruchám, poruchám spánku, ztrátě koordinace a ke změnám nálad a chování. **Opakované vdechování** expozice této látky může způsobit zvýšené riziko u plodu matky nebo kojenců, neboť se tato látka akumuluje zejména v tukové tkáni (je rozpustná v tucích) a rovněž lze najít i určité procentuální množství v **mateřském mléce**. Podle studie na lidech bylo dokázáno, že 80 – 100% příjmu této látky je vydechováno sedm dnů po čtyřhodinovém vystavení se expozici  $488 - 976 \text{ mg.m}^{-3}$ . (World Health Organization, 2010)

V EU je klasifikován tetrachlorethylen se statutem podezření na karcinogenní účinky, vyšší specifikaci zařazení dokládají tabulky 31 a 32.

**Tabulka 30 Věty R (Zdroj: [www.irz.cz](http://www.irz.cz))**

R40	Podezření na karcinogenní účinky
R51/53	Toxický pro vodní organismy, může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí

**Tabulka 31 Věty S (Zdroj: [www.irz.cz](http://www.irz.cz))**

S2	Uchovávejte mimo dosah dětí
S23	Nevdechujte plyny/dýmy/páry/aerosoly (příslušný výraz specifikuje výrobce)
S36/37	Používejte vhodný ochranný oděv a ochranné rukavice

### 3.9.5 Platná legislativa

#### Legislativa EU

- **Nařízení E-PRTR** - které se týká zřízení Evropského registru vypouštění a přenosu znečišťujících látek (<http://prtr.ec.europa.eu>)
- **Rozhodnutí o EPER** - Rozhodnutí Komise 2000/479/ES, o vytvoření Evropského registru emisí znečišťujících látek podle článku 15 směrnice Rady 96/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění (IPPC) ([www.mzp.cz](http://www.mzp.cz))

#### Mezinárodní dokumenty

- **CLRTAP** - o dálkovém přeshraničním znečišťování ovzduší a související protokoly ([www.unece.org](http://www.unece.org))

#### Legislativa ČR

- **Zákon č.254/2001 Sb. (příloha č.1)** - o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), příloha č.1: Zvlášť nebezpečné látky (Zákon č. 254/2001)
- **Vyhláška č. 205/2009 Sb. (příloha č.1)** - o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. (Vyhláška č. 205/2009 Sb.)
- **Vyhláška č. 402/2011 Sb.**, vyhláška o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí. (Vyhláška č. 402/2011 Sb.)

### 3.9.6 Současný stav řešení problematiky

Tetrachlorethylen je podle IARC klasifikován jako karcinogenní (skupina 2A) – pravděpodobně karcinogenní pro člověka (IARC, 1995) a v EU je klasifikován jako karcinogenní látka (kategorie 3) – látky, které mohou způsobit obavy vzhledem k možným karcinogenním účinkům, ale nejsou k dispozici dostatečné údaje pro uspokojivé posouzení), věta 40 – podezření na karcinogenní účinky. USEPA nemá v současné době určitou přesnou klasifikaci karcinogenity terachlorethylenu, ale počítá se specifickou inhalační jednotkou  $5,8 \cdot 10^{-7} \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . ([www.epa.gov](http://www.epa.gov))

**ATSDR ovšem odvodila akutní inhalační riziko** na  $1,38 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  a chronické na  $0,28 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . (2) tuto hodnotu potvrzuje i LOAEL. (110)

Martin Rajnoch: Zdravotní rizika spojená se zhoršenou kvalitou ovzduší vnitřního prostředí

**V České republice** platí pro koncentrace tetrachlorethylenu následující limity v ovzduší pracovišť: PEL – 250 mg. m<sup>-3</sup>, NPK – P- 750 mg. m<sup>-3</sup> (Kotzias, 2005)

## 4 Pasivní domy

Pasivní domy jsou nízkoenergetické domy, které zajišťují nízkou spotřebu energie, přičemž jde obvykle o 85 – 90 % spotřeby oproti stávajícím budovám. Celkové množství primární energie, které se spotřebuje na provoz budovy, nesmí přesáhnout  $120 \text{ kWh.m}^{-2}$ , maximální hodnota měrné potřeby tepla na vytápění je  $15 \text{ kWh.m}^{-2}$  (pasivní domy). Vnitřní prostředí je pro obývání příjemné hlavně v zimním a letním období i bez použití klasických topných zdrojů a systémů, ovšem ve spolupráci s větracím zařízením. Česká legislativa upravuje pasivní domy normou ČSN 730540. (Bárta et al., 2007)

### 4.1 Vývoj pasivních domů

Problematika tzv. „pasivních domů“ není záležitostí moderních společenských nároků. Jejich vzniku předcházela představa výstavby domů s tepelnou ochranou budovy a vhodným větráním – tzv. solárních domů. Tradice solárních domů sahá až do období starověkého Řecka a Číny, kde byly pro výstavbu domů takového typu vhodné klimatické podmínky. Sofistikovaným výzkumem byly však teprve experimenty univerzity Massachusettského technologického institutu v USA, a to v r. 1939 a první standard pasivního domu vznikl v diskuzi mezi profesorem Bo Adamsonem z Lund University a Wolfgangem Feistem z Institut für Wohnen und Umwelt v roce 1988. Tento projekt byl následně rozvíjen do mnoha tezí. Podobnou koncepcí se také zabývali Martin Treberspurg a Georg W. Reinberg (fotografie viz příloha č.1). (Roaf et al., 2001)

Svou úlohu v dalším rozvoji pasivních domů v USA i ve světě byla nepochybně také ropná krize v roce 1973. Masivní pozornost tomuto fenoménu byla věnována ve Švédsku. Nové budovy začaly mít tlusté izolační vrstvy, začala se vyžadovat jejich vzduchotěsnost, standardem se stalo řízené mechanické větrání. Právě ve Skandinávských a také v německy mluvících zemích došel v tomto ohledu výzkum nejdále a od doby prvních prototypů bylo v těchto zemích postaveno již tisíce pasivních domů. (Bárta et al., 2007)

V severní Americe byl postaven první pasivní dům v roce 2003 ve státě Illinois. V České republice byl první pasivní dům postaven v roce 2004 a v roce 2008 byl dokonce postaven sériový soubor 13 pasivních domů v obci Koberovy u Turnova. V roce 2010 zašel vývoj v této oblasti tak daleko, že Evropská Unie směrnicí o energetické náročnosti

budov stanovila požadavek na novostavby od roku 2020 v podstatě na úroveň pasivního domu. Klima pro pasivní domy v ČR je pro pasivní domy vhodné, jelikož zima není do značné míry tak extrémní jako v severních zemích, ale hlavní výhodou je, že prakticky odpadá nutnost řešení aktivního chlazení, se kterým má problém jižní Evropa. (Tywoniak, 2007)

## 4.2 Problematika pasivních domů

S nárůstem nízkoenergetických a pasivních domů v ČR je nezbytné, aby se doplnily **klasifikační postupy** a **zpřesnily výpočtová hodnocení**, která by ve finále znamenala ustanovení jednoznačného postupu hodnocení na kvalitu řešení celé budovy, s obrovským důrazem na stavebně-energetické vlastnosti při zajištění celkové kvality vnitřního prostředí. Připravený soubor kritérií hodnocení a klasifikační schéma, která jsou uvedena v metodice Passivhaus Institutu v Darmstadtu a modelu MINERGIE-P, obsahují tyto rozhodující charakteristiky budovy – redukce tepelných ztrát, kvalitu vnitřního prostředí, potřebu tepla na vytápění a environmentálně orientované hodnocení. (Berndgen-Kaiser, 2004)

Ze studie prováděné formou dotazníkového šetření majitelů pasivních domů bylo zjištěno, že jsou majitelé **nespokojení s problematikou technologie větrání**. Byť bylo zjištěno, že hlavním viníkem jsou firmy, zaměřené na projektování a technologie, které mají nedostatečné zkušenosti a kvalifikovanost svého personálu na odpovídající úrovni. Zařízení pro větrání bylo bezproblémové u méně jak poloviny projektů (44%), u třetiny bylo bezproblémové, až po následné revizi, byť 14 % ještě stále uvádělo, že zařízení není funkční. Majitelé si rovněž stěžovali na rizikové prostředí v létě, kdy teplota v místnostech byla příliš vysoká, je ovšem nutno dodat, že způsobené problémy byly výsledkem absence stínící techniky. Dále byl největším rizikem hluk, na který si stěžovalo až 56% respondentů. (Bárta et al., 2008)

Mezi **výhody pasivních domů** patří vlastní zodpovědnost uživatelů (volba teploty, pohoda, hygiena vzduchu, výměna vzduchu, způsoby větrání, výměna filtrů, decentralizovaný ohřev vody). Technické výhody pasivních domů spočívají v menší délce rozvodů, jednodušším vedením rozvodů, menšími problémy s přenosem zvuku vzduchem, a v tom, že systémy vytápění lze odstranit bez náhrady. Rovněž náklady a úspory (střechy, fotovoltaické zařízení), využití obnovitelných zdrojů, snížení emisí CO<sub>2</sub> až na 80 – 95 %. Instalace komfortního větrání patří ke standardnímu „balíku“ kompletní

modernizace, přičemž motivací není úspora energie, ale bezpečná prevence proti plísním a škodám způsobeným vlhkostí. Vzhledem k neustále rostoucím nákladům na energie se objevují snahy o úsporu energie v nových i starších stavbách, ovšem u nízkoenergetických a pasivních domů je nezbytné používat kontrolované systémy větrání, z důvodu zamezení vzniku zhoršené kvality vzduchu. Pokusy o zabránění fyzikálním škodám, vznikajících v důsledku vzdušné vlhkosti, je předmětem studie Beisteinera, který analyzoval a vyhodnocoval kvalitu vzduchu v pasivním domě (vyhodnocení obsahu CO<sub>2</sub>, teploty a vlhkosti). Beisteiner zjistil, že pokud neprobíhalo *kontrolované větrání*, bylo naměřeno zejména v ložnicích až 7000 ppm CO<sub>2</sub>, a vlhkost vzduchu až 80%. (Bárta et al., 2007) Výraznou proměnnou v tomto výzkumu je počet přesných podmínek v místnosti, stáří osob, akumulací kapacita objektu, poloha dveří, ale i jiné zdroje vlhkosti a množství rostlin.

### 4.3 Zdravotní rizika

Mnoho pasivních domů bylo analyzováno s cílem najít potencionální rizika spojená s žitím v těchto domech. Mezi potenciální problémy patří hlučnost zařízení, možnost kontaminace vodních rezerv a nedostatek flexibility větracích složek a přístrojů. (Roaf et al., 2001).

Hodně pasivních domů je postaveno **špatně zvolenými postupy**, to v důsledku znamená, že přijímají ve větší míře vlhkost uvnitř, což má za následek zvýšení počtu plísní a zhoršení kvality vnitřního ovzduší. Rovněž vznikají potenciálně škodlivé látky z koberců a nábytku, pokud není zajištěn vyvážený ventilační systém s rekuperací tepla pro bezpečnou výměnu vzduchu. Pokud je koncentrace vlhkosti vzduchu uvnitř nižší než 30%, dochází ke snížené frekvenci dýchání (zhoršení a obtížnost dýchání), pokud je koncentrace vzduchu nad 60 %, dochází ke vzniku plísní. Proto by měla být **frekvence větrání minimálně dvě minuty každé dvě hodiny**.

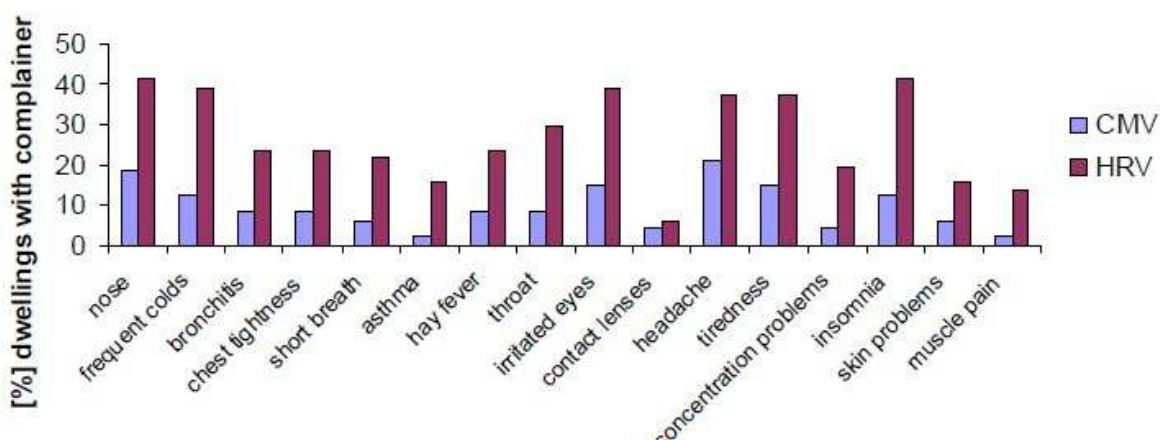
Mezi **další problémy** patří průsaky radonu do vody z půdy, pokud není potrubí hermeticky uzavřeno a růst plísní a bakterií u vodního potrubí s určitým specifickým sklonem, neboť se zde voda hromadí v nejnižším bodě. Dalšími zdroji jsou koberce, výrobky ze dřeva, čalounění, čisticí látky, těkavé organické látky (VOC), spalovací procesy, které v kombinaci se špatným větráním dávají vzniku astmatu, kašli a alergickým reakcím. (Nieminen et al., 2008)



Výroba některých materiálů pro získání solární energie vytváří určité znečištění ovzduší v závislosti na použitém materiálu, tyto negativní vlastnosti lze odstranit větší tloušťkou stěny. Dalším problémem je zmiňovaná **hlučnost**, která vzniká ze zdrojů, jako jsou ventilátory proudění vzduchu, které při pobytu více osob v místnostech mají výrazné negativní účinky na celkové zdraví člověka. (Hasselaar, 2008).

Studie v Nizozemí potvrdila, že kvalita vnitřního prostředí se zhoršila, vlivem vyššího počtu osob v místnostech a domácích zvířat. V kombinaci s letním počasím, přesněji vysokých letních teplot, koncentrace CO<sub>2</sub> a formaldehydu z vnitřních zdrojů a hlučností (systémy byly hlučné při normálním provozu), zvýšily parametry vnitřního ovzduší a systém tento nedostatek nemohl vykompenzovat. Dalším problémem, vzniklým v důsledku tohoto problému, bylo vyšší zanesení filtrů depozicemi a různými částicemi, což účinnost filtru snížilo o 15 – 20 % (fotografie viz příloha č.2). (Hasselaar, 2008)

Vzniklé zdravotní důsledky na základě nedostatečného větrání v procentech na základě výzkumu nám dokládá obrázek 1, kde nejvyšší negativní účinky byly spojeny s problémy s dýcháním, hlavou a očima. (www.asb-portal.cz)



Obrázek 1 Zdravotní důsledky vlivem nedostatečného větrání (CMV – konvenční mechanické větrání, HRV – rekuperace tepla) (Zdroj: www.asb-portal.cz)

**Dalšími zdroji znečištění**, které mají vliv na zdravotní rizika, jsou plynové sporáky, využívání fosilních paliv, emise z čisticích prostředků, dekoračních materiálů, pesticidů, vůní, svíček a také kouření. Zajímavostí je i zvýšení vlhkosti vlivem častého využívání koupelen, zejména sprch více než 3x denně nebo sušení prádla v interiéru. (Roaf et al., 2001)

I přes velké negativní souhrny problémů, které zde byli uvedeny, jsou v současné době pasivní domy velmi dobrou možností k bydlení, jak z hlediska úspory energie a při

Martin Rajnoch: Zdravotní rizika spojená se zhoršenou kvalitou ovzduší vnitřního prostředí

správném používání i prevencí před možnými zdravotními riziky, které se nacházejí v jiných místnostech.

## 5 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit a poukázat na zdravotní rizika způsobená zhoršenou kvalitou ovzduší vnitřního prostředí, jelikož je tato problematika velmi často opomíjena. Na kvalitu ovzduší vnitřního prostředí mají primárně vliv hlavní polutanty vnitřního prostředí, které se do těchto místností dostávají nejčastěji větráním a z běžně používaných zdrojů. Velmi pozorně jsem se v této práci zaměřil na domovy a kancelářské prostory, jelikož ty mají právě nejvyšší koncentrace látek a navíc v nich trávíme nejvíce času svého života. Rovněž jsem uvedl i možnosti snížení koncentrací látek v místnosti či při jakých koncentracích dochází k negativnímu působení na zdraví člověka.

Dále jsem poukázal na rozdílnost maximálních povolených koncentrací v legislativě. Je nutné informovat obyvatelstvo o zdravotních rizicích, kterým jsou vystaveni a tím i dosáhnout zlepšení kvality ovzduší. Téma kvality vnitřního ovzduší a v této souvislosti vzniklé rizikové faktory pro zdraví člověka se týká všech osob. Problematika hlavních polutantů vnitřního prostředí by měla být zahrnuta v koncepcích pro předcházení zdravotních rizik při plánování a následném využívání budov, včetně volby vnitřních materiálů a výrobků. Je důležité vyhodnotit vnitřní zdroje, které mohou negativně působit na zdraví člověka či majetek, zejména pak jejich koncentrace a vztah k venkovnímu prostředí. Stejně tak je důležité zpracovat nashromážděná data a shrnout důkazy o kinetice metabolismu, a to včetně účinků na zdraví.

Tato práce mi umožnila získat mnohem větší přehled v problematice kvality ovzduší vnitřního prostředí. Na základě získaných znalostí mohu pomoci svým blízkým při snížení zdravotních rizik v domovech a na pracovištích preventivním opatřením.

Toto téma mě oslovilo natolik, že bych se jím chtěl i nadále hlouběji věnovat ve své diplomové práci se zaměřením na zdravotní rizika v Moravskoslezském kraji v souvislosti s vnitřním prostředím.

## 6 Seznam použité literatury

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). *Toxicological profile for tetrachlorethylene*. Atlanta: US Department of Health and Human Services, 1997. 1. Dostupné z: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp18.pdf>

AMOOORE, John E. a Earl HAUTALA. Odor as an aid to chemical safety: Odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution. *Journal of Applied Toxicology*. 2006, č. 3. DOI: 10.1002/jat.2550030603. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jat.2550030603/abstract>

ANDREOLI, C., P. LEOPARDI a R. CREBELI. Detection of DNA damage in human lymphocytes by alkaline single cell gel electrophoresis after exposure to benzene or benzene metabolites. In: *Mutation Research*. 1997. Dostupné z: <http://www.crios.be/Benzene/literature/Andreoli%20et%20al.htm>

ASLAN, Sahin, Hayati KANDIS a Yavuz KATIRCI. Neuropsychiatric disorders and risk factors in carbon monoxide intoxication. *Toxicology and Industrial Health*. 2010, 27(5). DOI: 10.1177/0748233710387632.

BÁRTA, Jan a Juraj HAZUCHA. *Pasivní domy 2007*. Brno: Centrum pasivního domu, 2007. 1. ISBN 978-80-254-0126-2.

BÁRTA, Jan a Juraj HAZUCHA. *Pasivní domy 2008*. Brno: Centrum pasivního domu, 2008. 1. ISBN 978-80-254-2848-1.

Benzen. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/16>

BERNDGEN-KAISER, Andrea. *Passivhäuser in NRW: Auswertung, Projektschau, Wohnerfahrungen*. Dortmund: ILS NRW, 2004. 1. ISBN 3930860791.

BONNARD, N., M. FALCY, D. JARGOT. *Benzéne*. Paris: INRS, Paris cedex, 2007. ISBN 978-2-7-389-1572-6.

BRUNO, J., EUROPEAN COMMISSION, Environment Directorate - General. *The air we breathe LIFE and the European Union clean air policy*. Luxemburg: Office for Official Publication of the European Communities, 2004. 1. ISBN 92-894-7999-3. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/health/ph\\_projects/2002/pollution/fp\\_pollution\\_2002\\_frep\\_02.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2002/pollution/fp_pollution_2002_frep_02.pdf)

BURGESS, J.L. Benzene. *IPCS* [online]. 1999 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim063.htm>

CARRER, Paolo, Edith RAMECKERS a Dimitris KOTZIAS. EUROPEAN COMMISSION, Environment Directorate - General. *POLICIES AND ACTIONS CONCERNING INDOOR AIR POLLUTION IN DWELLINGS IN EUROPE AND OVERSEAS*. Luxemburg: Office for Official Publication of the European Communities, 2004. 1.

CASTRO, D., K. SLEZAKOVA a S. MORAIS. Contribution of traffic and tobacco smoke in the distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons on outdoor and indoor PM<sub>2.5</sub>. *Global NEST Journal*. 2009, č. 12.

DALY, Aaron a Paolo ZANNETTI. *An Introduction to Air Pollution: Definition, Classifications, and History* [online]. 1. vyd. Freemont, CA (USA): The EnviroComp Institute, 2007 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z: <http://www.envirocomp.org/books/chapters/1aap.pdf>

DARBY, S. Radon in homes and risk of lung cancer. *PubMed.gov*. 2004, č. 29. DOI: 330(7485):223. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15613366>  
[datasheets/pdf/NO3\\_AROM1\\_NO3\\_benzene.pdf](#)

DEL GRATTA, F, M. DURIF, Y. FAGAULT a I. ZDANÉVITCH. *Trichloréthylène, tétrachloréthylène et chlorure de vinyle dans l'air*. Alata, Verneuil-en-Halatte: INERIS, 2005. 1. INERIS-DRC-05-56770-AIRE-N0094-IZd.

DODSON RE et al. *Influence of basement, garages and common hallways on indoor residential volatile organic compound concentrations*. MA, USA: Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, 2007. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007010102>

DUBOUDIN, Cédric. Pollution inside the home: descriptive analyses. *L'essentiel de l'information scientifique et médicale*. 2009, č. 6. DOI: 10.1684/ers.2009.0304. Dostupné z: <http://www.jle.com/e-docs/00/04/51/13/article.phtml>

E-PRTR: The European Pollutant Release and Transfer Register. *European Environment Agency: EEA* [online]. 2009 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://prtr.ec.europa.eu/pgLibraryPollutants.aspx>

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. *Air pollutant* [online]. 2011. vyd. 2011 [cit. 2012-04-09]. Dostupné z: [http://glossary.eea.europa.eu/EEAGlossary/A/air\\_pollutant](http://glossary.eea.europa.eu/EEAGlossary/A/air_pollutant)

Formaldehyd. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/43>

GILBERT, Nicolas L., Mireille GUAY a Denis GAUVIN. Air change rate and concentration of formaldehyde in residential indoor air. *Atmospheric Environment*. 2008, č. 10. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.12.017. Dostupné z: <http://www.jle.com/e-docs/00/04/51/13/article.phtml>

GOLDEN, Robert. Identifying an indoor air exposure limit for formaldehyde considering both irritation and cancer hazards. *PubMed.gov: US National Library of Medicine National Institutes of Health*. 2011, č. 48. DOI: 0.3109/10408444.2011.573467.

HARRISON, Roy M., Juana Maria DELGADO-SABORIT a Stephen J. BAKER. HEI Research Report: Measurement and Modeling of Exposure to Selected Air Toxics for Health Effects Studies and Verification by Biomarkers. *Health Effects Institute*. 2009, č. 143. WA 754 R432. Dostupné z: <http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/content/iapi.pdf>

HASSELAAR, Evert. Health risk associated with passive houses: An exploration. *Indoor Air*. 2008, 17-22. Dostupné z: <http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:88fd72b2-f7ab-45ea-a403-ce367801cf3f/223700.pdf>

HEALTH COUNCIL OF THE NETHERLANDS. *Trichlorethylene*. The Hague: Health Council of the Netherlands, 2003. 1. ISBN 90-5549-509-3

*HEI Air Toxics Review Panel: Mobile-Source Air Toxics: A Critical Review of the Literature on Exposure and Health Effects, Polycyclic Organic Matter*. Boston: Health Effects Institute, 2007. Dostupné z: <http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=394>

HEINRICH, Joachim. Influence of indoor factors dwellings on the development of childhood asthma. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2010, roč. 2011, č. 214. DOI: 10.1016. Dostupné z: <http://130.88.242.202/medicine/Aspergillus/articlesoverflow/20851050.pdf>

HODGSON, Alfred T. a Hal LEVIN. Influence of indoor factors dwellings on the development of childhood asthma. *Volatile Organic Compounds in Indoor Air: A Review of Concentrations Measured in North America Since 1990*. 2003, LBNL-51715. Dostupné z: [http://www.inive.org/members\\_area/medias/pdf/inive/lbl/lbnl-51715.pdf](http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/inive/lbl/lbnl-51715.pdf)

HOLOUBEK, Ivan. *Chemie životního prostředí: Skripta*. Praha: SPN Praha, 1990., 154s.

HOLOUBEK, Ivan. *Polycyklické aromatické uhlovodíky v prostředí*. Praha: Český ekologický ústav, 1996. ISBN 80-85087-44-8

HOWARD, P.H., R.S. BOETHLING, W.F. JARVIS a W. MEYLAN. *Handbook of Environmental Degradation Rates*. New York: Lewis Publishers, Inc., 1991. 1. ISBN 0873713583.

IARC. *Dry cleaning, some chlorinated solvents and other industrial chemicals. Summary of data reported and evaluation*. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1995. 1. Dostupné z: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol63/volume63.pdf>

Insulation For Passive Houses. *Passive house and home* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.passivehouseandhome.com/InsulationForPassiveHouses.html>

IUPAC Subcommittee on Gas Kinetic Data Evaluation: *Data Sheet*. NC: Research Triangle Park, International Union of Pure and Applied Chemistry, 2008. Dostupné z: <http://www.iupac-kinetic.ch.cam.ac.uk/>

JANTUNEN, M.J., O. HANNINEN, K. KATSOUYANNI a N. KUENZLI. Air pollution exposure in European cities: The "EXPOLIS" study. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 1998, č. 4. ISSN 10534245.

JUNKER, M, T KOLLER a C MONN. An assessment of indoor air contaminants in buildings with recreational activity: thod. *Science of The Total Environment*. 2000, 2-3. DOI: 10.1016/S0048-9697(99)00452-0.

KEDER, J. et al. *Vznik a režim změn letního fotochemického smogu na území ČR: Závěrečná zpráva*. Praha: ČHMÚ, 1997. ISBN VaV/520/2/97.

KENDALL, G. M. a T. J. SMITH. Doses from radon and its decay products to children. *Journal of Radiological Protection*. 2005, č. 25. DOI: 10.1088/0952-4746/25/3/002.

KIMBELL, J.S., J.H. OVERTON a R.P. SUBRAMANIAM. Dosimetry Modeling of Inhaled Formaldehyde: Binning Nasal Flux Predictions for Quantitative Risk Assessment. *The Society of Toxicology*. 2001, č. 64. Dostupné z: <http://toxsci.oxfordjournals.org/content/64/1/111.full.pdf>

KOISTINEN, K., D. KOTZIAS a S. KEPHALOPOULOS. The INDEX project: executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. *Online Library*. 2008, 63:810-819. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2008.01740.x.

KORPI, A., P. PASANEN, A.-L. PASANEN a P. KALLIOKOSKI. Microbial growth and metabolism in house dust. *Volatile Organic Compounds in Indoor Air: A Review of Concentrations Measured in North America Since 1990*. 1997, roč. 1997, č. 40. DOI: 10.1016. Dostupné z: [http://www.inive.org/members\\_area/medias/pdf/inive/lbl/lbnl-51715.pdf](http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/inive/lbl/lbnl-51715.pdf)

KOTZIAS, Dimtrios. EUROPEAN COMMISSION, Directorate - General, Joint Research Centre. *The INDEX project Institute for: Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU*. USA: Science of the Total Environment, 2005. 1. ISBN I-21020 Ispra (VA).

KREWSKI, Daniel, Jay H. LUBIN, Jan M. ZIELINSKI, Michael ALAVANJA, Vanessa CATALAN, William R. FIELD, Judith B. KLOTZ, Ernset G. LÉTOURNEAU, Charles F. LYNCH, Joseph L. LYON, Dale P. SANDLER, Janet B. SCHOENBERG. Journal of Toxicology and Environmental Health: Part A. *Journal of Radiological Protection*. 2005, č. 25. ISSN 1528-7394. DOI: 0.1080/15287390500260945.

KUDLACEK, Ivan. Hlavní složky životního prostředí. CVUT. [online].2010 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: [http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/EKP/04\\_ovzdusi.pdf](http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/EKP/04_ovzdusi.pdf)

KWON, Ki-Dong a Wan-Kuen JO. Indoor Emission Characteristics of Liquid Household Products using Purge - and - Trap Method. *Online Library: Department of Indoor Environment, National Institute of Environment Research, Incheon, Korea*. 2007, č. 12. DOI: 10.1111/j.1398-9995.2008.01740.x.

LANKI, Timo, Sari ALM, Juhani RUUSKANEN. Photometrically measured continuous personal PM<sub>2.5</sub> exposure: Levels and correlation to a gravimetric method. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2002, č. 12. ISSN: 1053-4245.

LEWIS, R.G. a S.M. GORDON. *Sampling for organic chemicals in air*. United States of America: Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 1994. 1. ISBN PB-95-128112/XAB.

MAKELAINEN, Ilona, Hannu ARVELA a Anne VOUTILAINEN. Correlations between radon concentration and indoor gamma dose rate, soil permeability and dwelling



substructure and ventilation. *Science of The Total Environment*. 2001, č. 272. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)00705-7.

MCKERNAN, Lauralynn T., Avima M. RUDER, Martin R. PETERSEN, Misty J. HEIN, Christy L. FORRESTER, Wayne T. SANDERSON, David L. ASHLEY a Mary A. BUTLER. Biological exposure assessment to tetrachloroethylene for workers in the dry cleaning industry. *Environmental Health*. 2008, roč. 12, č. 7. DOI: 10.1186/1476-069X-7-12

Naftalen. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/70>

NIELSEN, G.D., P. WOLKOF a Y. ALAIRE. Sensory irritation: risk assessment approaches. *PubMed.gov: US National Library of Medicine National Institutes of Health*. 2007, č. 48. PMID: 17241726.

NIEMINEN, Jyri, Riikka HOLOPAINEN a Kimmo LYLYKANGAS. Passive House for a cold climate. *Passive House for a cold climate* [online]. 2008, 1. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <http://web.byv.kth.se/bphys/copenhagen/pdf/171-1.pdf>

ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. *Environmental Performance Reviews: Czech republic*. 3. vyd. Organisation for Economic Cooperation and Development, 1999. ISBN 926417009X, 9789264170094.

Oxid dusičitý. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/79>

Oxid uhelnatý. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/77>

PEKEY, Hakan a Demet ARSLANBAS. *The Relationship Between Indoor, Outdoor and Personal VOC Concentrations in Homes, Offices and Schools in the Metropolitan Region of Kocaeli, Turkey*. Turkey: Kocaeli, 2008. ISBN 10.1007/s11270-007--9610-y.

PENNY, David G. a E. PASQUIER. *Carbon monoxide*. USA: CRC-Press, 1996. 1. ISBN 978-0849347962.

PERERA, Federica P., Robin M, WHYATT a Wieslav JEDRYCHOWSKI. Recent Developments in Molecular Epidemiology: A Study of the Effects of Environmental

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Birth Outcomes in Poland. *American Journal of Epidemiology*. 1998, 1-4. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.03.034. Dostupné z: <http://aje.oxfordjournals.org/content/147/3/309.full.pdf>

Polycyklické aromatické uhlovodíky. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/86>

Radon. EPA: *United States Environmental Protection Agency* [online]. 2012 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/radon/>

Radonový program ČR. *Radonový program ČR* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: [http://www.radonovyprogram.cz/radonovyprogram/images/clanky/vyhlaska\\_307.pdf](http://www.radonovyprogram.cz/radonovyprogram/images/clanky/vyhlaska_307.pdf)

RAUB, J. *Carbon monoxide: Environmental Health Criteria 213*. 2. vyd. USA: US Environmental Protection Agency, 1996. 1. ISBN 92 4 157213 2.

RAW, Gary J., Sara K. D. COWARD a Veronica M. BROWN. Exposure to air pollutants in English homes. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2004, č. 14. DOI: 10.1038/sj.jea.7500363. Dostupné z: <http://www.nature.com/jes/journal/v14/n1s/full/7500363a.html>

ROAF, Sue, Manuel FUENTES a Stephanie THOMAS. *Ecohouse: A Design Guide*. Oxford: Architectural Press, 2001. 1. ISBN 0 7506 4904 6.

Roger Chun Man, Wendy CHENG a Anna Nyap Cheng CHUA. Neuropsychiatric aspects of carbon monoxide poisoning: diagnosis and management. *Advances in psychiatric treatment*. 2000, 2-3. DOI: 10.1192.

ROOSBROECK, Sofie Van, Janine WICHMANN a Nicole A. h. JANSSEN. Long-term personal exposure to traffic-related air pollution among school children, a validation study. *Science of The Total Environment*. 2006, 2-3. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.03.034.

ROTKO, Tuulia, Anu KOUSA, Sari ALM. Exposures to nitrogen dioxide in EXPOLIS-Helsinki: microenvironment, behavioral and sociodemographic factors. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2001, č. 11. DOI: 10.1038. Dostupné z: <http://www.nature.com/jes/journal/v11/n3/full/7500162a.html>

Rozhodnutí komise ze dne 17. července 2000: o vytvoření Evropského registru emisí znečišťujících látek (EPER). *Databáze RIS MŽP: Databáze překladů předpisů ES* [online]. 2009 [cit. 2012-03-25]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/\\$celex/32000d0479](http://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/$celex/32000d0479)

RUDEN, Christina. Principles and practices of health riskassessment under current EU regulations. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2005, č. 44. DOI: 10.1016/j.yrtph.2005.04.009.

SAKSENA, Sumeet, Lisa THOMPSON a Kirk R. SMITH. The Indoor Air Pollution and Exposure Database: Household Pollution Levels in Developing Countries. 2003, 1.1. Dostupné z: <http://ehs.sph.berkeley.edu/hem/content/iapi.pdf>

SALTHAMER, Tunga, Sibel MENTESE a Rainer MARUTZKY. Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews*. 2010, č. 10. DOI: 10.1021/cr800399g.

*Sbírka zákonů Česká republika: 205. Vyhláška o zjišťování emisí ze stacionárních zdrojů a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2009. ISSN 1211-1244.

*Sbírka zákonů Česká republika: 273. Úplné znění zákona č.254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2010. ISSN 1211-1224.

*Sbírka zákonů Česká republika: 402. Vyhláška o hodnocení nebezpečných vlastností chemických látek a chemických směsí a balení a označování nebezpečných chemických směsí*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2011. ISSN 1211-1244.

*Sbírka zákonů Česká republika: 540. Vyhláška, kterou se stanoví seznamy nebezpečných chemických látek a nebezpečných chemických přípravků, jejichž uvádění na trh je zakázáno nebo jejichž uvádění na trh, do oběhu nebo používání je omezeno, ve znění pozdějších předpisů*. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, 2006. ISSN 1211-1244.

Tetrachlorethylen. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/93>

Tetrachlorethylene. *U.S. Environmental Protection Agency* [online]. 2006 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/tet-ethy.html>

Trichlorethylen. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. 2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/100>

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické a pasivní domy v ČR - bariéry i šance. *Tepelná ochrana budov*. 2007, č. 6.

UNECE ENVIRONMENT AND HUMAN SETTLEMENTS DIVISION. *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution:CLRTAP*. VOC Solvent Emissions Directive, 16.3.1983. ISBN UN 1979. Dostupné z: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/1979.CLRTAP.e.pdf>

UNSCEAR. *Effects of ionizing radiation*. New York: United Nations, 2008. 1. ISBN 978-92-1-142263-4.

VALENTIN, J. *Annals of the ICRP: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Canada: International Commission on Radiological Protection, Elsevier, 2007. 1. ISBN 978-0-7020-3048-2.

WILLIAMS-JOHNSON, Mildred, Carol J. EISENMANN a Steven G. DONKIN. *Toxicological profile for Trichlorethylene*. Atlanta-Georgia: ATSDR, 1997. 1. Dostupné z: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp19.pdf>

WISTHALER, A, E. C. APEL a J. BOSSMEYER. Technical Note: Intercomparison of formaldehyde measurements at the atmosphere simulation chamber SAPHIR. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2007, č. 8. DOI: 10.1029/2008JD009865.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Germany: The Regional Office for Europe of the World Health Organization, 2010. ISBN 978-92-890-0213-4.

WRIXON, A.D. New ICRP recommendations. *Journal of Radiological Protection*. 2008, č. 28. DOI: 10.1088/0952-4746/28/2/R02. Dostupné z: [http://iopscience.iop.org/0952-4746/28/2/R02/pdf/0952-4746\\_28\\_2\\_R02.pdf](http://iopscience.iop.org/0952-4746/28/2/R02/pdf/0952-4746_28_2_R02.pdf)

Zákon č.13/2002 Sb. *Sagit: Nakladatelství ekonomické a právní literatury Ostrava*[online]. 1996-2012 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: [http://www.sagit.cz/pages/zpravodajtxtanot.asp?cd=167&typ=r&zdroj=../\\_anotace/sb02013a](http://www.sagit.cz/pages/zpravodajtxtanot.asp?cd=167&typ=r&zdroj=../_anotace/sb02013a)

Martin Rajnoch: Zdravotní rizika spojená se zhoršenou kvalitou ovzduší vnitřního prostředí

Zdravotní rizika spojená s pasivními domy. *ASB* [online]. 2012 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/zdravotni-rizika-spojena-s-pasivnimi-domy-2360.html>

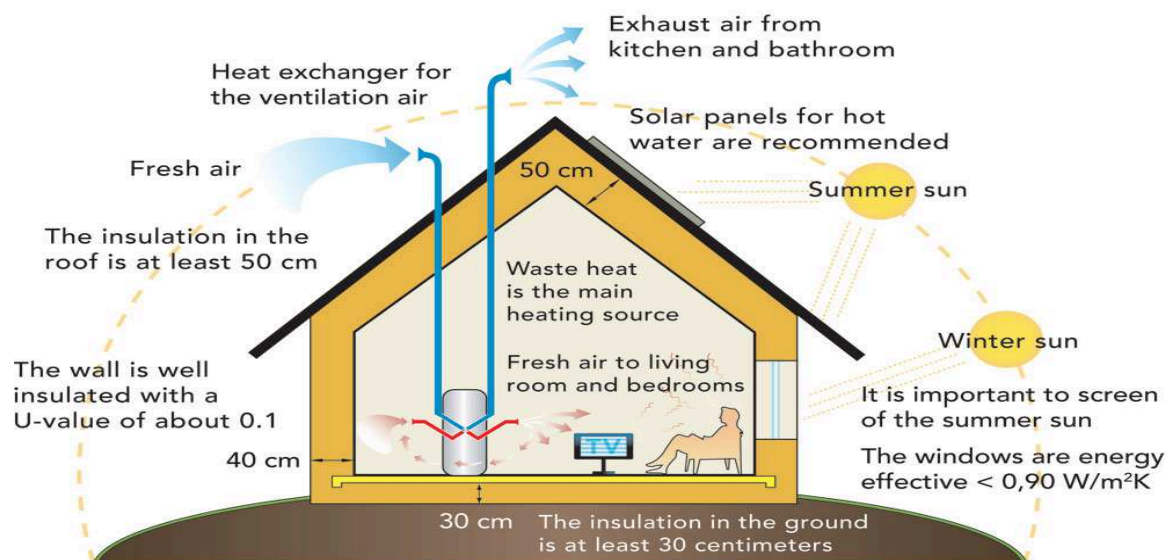
## 7 Přílohy

### Příloha 1 Pasivní dům



Obrázek 2 Pasivní dům (Zdroj: <http://lowcarbonproductions.files.wordpress.com/2010/05/darmstadt.jpg>)

### Příloha 2 Výhody pasivního domu



Obrázek 3 Výhody pasivního domu (Zdroj: <http://casadiseno.files.wordpress.com/2009/11/passive-house.jpg>)

## 8 Seznam tabulek

Tabulka 1 Znečišťující látky, které připadají v úvahu pro zařazení do směrnic podle WHO .....	4
Tabulka 2 Porovnání koncentrací benzenu v obytné místnosti a kancelářích .....	7
Tabulka 3 Koncentrace benzenu v místnostech měřená v EU.....	8
Tabulka 4 Koncentrace benzenu v místnostech, kde se provádí určitá specifická činnost .	8
Tabulka 5 Akutní expozice benzenu.....	9
Tabulka 6 Věty R.....	9
Tabulka 7 Věty S .....	9
Tabulka 8 Porovnání koncentrací oxidu uhelnatého v obytné místnosti a kancelářích.....	12
Tabulka 9 Koncentrace oxidu uhelnatého v místnostech měřená v EU .....	13
Tabulka 10 Koncentrace oxidu uhelnatého v místnostech, kde se provádí určitá specifická činnost.....	13
Tabulka 11 Věty R.....	15
Tabulka 12 Věty S .....	15
Tabulka 13 Porovnání koncentrací formaldehydu v obytné místnosti a kancelářích .....	18
Tabulka 14 Průměrné koncentrace formaldehydu v místnostech.....	19
Tabulka 15 Věty R.....	20
Tabulka 16 Věty S .....	21
Tabulka 17 Porovnání koncentrací naftalenu v obytné místnosti a kancelářích.....	23
Tabulka 18 Koncentrace naftalenu v místnostech .....	23
Tabulka 19 Věty R.....	25
Tabulka 20 Věty S .....	25
Tabulka 21 Věty R .....	28
Tabulka 22 Věty S .....	28
Tabulka 23 Zdroje benzo(a) pyrenu.....	31

Tabulka 24 Věty R .....	32
Tabulka 25 Věty S .....	32
Tabulka 26 Věty R .....	38
Tabulka 27 Věty S .....	39
Tabulka 28 Vnitřní koncentrace v bytech podle studie Expolis .....	41
Tabulka 29 Vnitřní koncentrace v kancelářích podle studie Expolis .....	41
Tabulka 30 Věty R .....	42
Tabulka 31 Věty S .....	42



## 9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Zdravotní důsledky vlivem nedostatečného větrání (CMV – konvenční mechanické větrání, HRV – rekuperace tepla) .....	48
Obrázek 2 Pasivní dům .....	61
Obrázek 3 Výhody pasivního domu) .....	61